

**CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES SOBRE  
LA TEMPERATURA VAGINAL DEL GANADO SENEPOL PUERTORRIQUEÑO CON  
MUSCULATURA DOBLE O SENCILLA**

por

Ashlynnette Santiago Salcedo

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

en

**CIENCIA ANIMAL**

**UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ  
2018**

Aprobado por:

---

Héctor L. Sánchez Rodríguez, Ph.D.  
Presidente, Comité Graduado

---

Fecha

---

Enid Arcelay Ruíz, Ph.D.  
Miembro, Comité Graduado

---

Fecha

---

Guillermo Ortiz-Colón, Ph.D.; P.A.S.  
Miembro, Comité Graduado

---

Fecha

---

Jay Omar Soto Vélez, M.S., M.I.S., C.L.A.  
Representante Estudios Graduados

---

Fecha

---

José R. Latorre, Ph.D.  
Director de Departamento

---

Fecha

## RESUMEN

El ganado Senepol es reconocido por su alta capacidad termorreguladora. Recientemente, en esta raza se ha identificado una mutación en el gen de miostatina resultante en el fenotipo de doble musculatura. Sin embargo, se desconoce si este fenotipo puede afectar la capacidad termorreguladora de estos animales bajo nuestras condiciones ambientales. Por esto, se evaluó si existen diferencias en temperatura vaginal (**TVAG**) entre vacas Senepol de musculatura sencilla (**MS**; n=11) y sus contemporáneas de musculatura doble (**MD**; n=8). También se estudió la relación de la TVAG con diferentes condiciones ambientales, incluyendo el índice de temperatura y humedad (**ITH**) bajo sol y bajo sombra, la temperatura del aire (**TA**) bajo sol y bajo sombra, la radiación solar (**RS**), la humedad relativa (**HR**) bajo sol y bajo sombra, la velocidad del viento (**VV**) y la velocidad de ráfaga (**VR**). La TVAG y las condiciones ambientales fueron determinadas cada cinco minutos durante cinco días consecutivos (abril 2015). Los datos, promediados por hora (h), fueron analizados mediante el procedimiento GLIMMIX (SAS) el cual también determinó diferencias significativas, si alguna, entre la TVAG y los fenotipos. El procedimiento CORR (SAS) fue utilizado para evaluar el efecto retrasado que ejercen las condiciones ambientales sobre la TVAG a intervalos de 1 h. Se observó una interacción entre el genotipo y la h del día afectando la TVAG ( $P < 0.0001$ ). Las vacas de MS mostraron una tendencia a presentar mayores valores promedios de TVAG a las 1800 h ( $38.89 \pm 0.03$  vs.  $38.77 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0612$ ), 1900 h ( $38.92 \pm 0.03$  vs.  $38.80 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0637$ ) y 2100 h ( $38.84 \pm 0.04$  vs.  $38.73 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0920$ ) en comparación con sus contemporáneas de MD. A las 2000 h las vacas MS mostraron mayores valores de TVAG que las MD ( $38.86 \pm 0.03$  vs.  $38.72 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0262$ ). Al evaluar los datos en tiempo real la única condición ambiental que resultó asociada con la TVAG lo fue la RS con coeficientes de correlación de -0.18 ( $P < 0.0001$ ) y -0.17 ( $P < 0.0001$ ) para las vacas MS y MD,

respectivamente. Sin embargo, los mayores coeficientes de correlación positivos entre las condiciones ambientales y la TVAG fueron observados durante 5-7 h de retraso en ambos fenotipos. Estos resultados sugieren que las vacas MD son capaces de mantener una menor temperatura corporal bajo un ambiente cálido. El reducido tamaño visceral en animales MD de otras razas pudiese ser una explicación para una menor producción de calor metabólico, ayudando a explicar el comportamiento observado en la presente investigación.

## ABSTRACT

Senepol cattle has been recognized for its high thermoregulatory capacity. Recently, a mutation in the myostatin gene that results in the double muscle phenotype has been identified in this breed. However, it is unknown if this phenotype could alter the breed's thermoregulatory capacity under our environmental conditions. Hereby, differences in vaginal temperature (**VT**), if any, between Senepol cows possessing normal musculature (NM; n=11) and their contemporaries possessing the double muscle (DM; n=8) phenotype were evaluated. The relationship between de VT and the environmental conditions, including the thermal humidity index (**THI**) under sun exposure and shade, air temperature (**AT**) under sun exposure and shade, solar radiation (**SR**), relative humidity (**RH**) under sun exposure and shade, wind velocity (**WV**), and gust speed (**GS**) was also evaluated. The vaginal temperature and environmental conditions were recorded every five minutes for five consecutive days (April 2015). The GLIMMIX procedure of SAS was used to analyze the data (averaged by hour) and to evaluate if there were any significant differences between VT and phenotypes. The CORR procedure (SAS) was utilized to evaluate the lag effect the environmental conditions may exert in the VT in 1 h intervals. An interaction ( $P<0.0001$ ) between the genotype and the hour of the day affecting VT was observed. The NM cows exhibited a tendency to present higher VT averaged values than the DM cows at 1800 h ( $38.89 \pm 0.03$  vs.  $38.77 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0612$ ), 1900 h ( $38.92 \pm 0.03$  vs.  $38.80 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0637$ ), and 2100 h ( $38.84 \pm 0.04$  vs.  $38.73 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0920$ ). At 2000 h, MS cows exhibited higher TVAG values in comparison to DM cows ( $38.86 \pm 0.03$  vs.  $38.72 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P=0.0262$ ). When evaluating data in real time, SR was the only environmental condition that resulted in an association with TVAG, with correlation coefficients of -0.18 ( $P<0.0001$ ) and -0.17 ( $P<0.0001$ ) for NM and DM cows, respectively. However, the highest positive correlation coefficients between the environmental conditions and

VT were observed during 5-7 lag time h in both phenotypes. These results suggest that DM cows are capable of maintaining a lower body temperature under a warm environment. The reduced visceral size in different DM breed animals may be an explanation for a low metabolic heat production helping explain the behavior observed in this investigation.

© Ashlynette Santiago Salcedo 2017

## **DEDICATORIA**

Deseo dedicar este trabajo a mi querido esposo Eric Leonardo Rivera Rodríguez y a mi querida madre Annette Salcedo Morales. Eric, gracias por ser mi roca durante toda esta travesía y por darme todo el apoyo del mundo. A mi madre, eres la luz de mis ojos y estoy agradecida al Padre Celestial por la oportunidad de ser tu hija. Todo lo que soy te lo debo a ti. Gracias por nunca dejarme sola y por darme las fuerzas necesarias para seguir. A mi querido padre, Pedro, sé que desde el cielo me cuidas y me guías. A mis hermanas Vangennette y Chainnette: gracias por apoyarme en este trabajo y escucharme cuando más lo necesitaba. A mi Leandro y Logan: gracias por ser las mejores mascotas del mundo, por darme tanta felicidad y tranquilidad. Los amo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias al Padre Celestial por la vida. Gracias por darme las fuerzas para seguir y nunca rendirme. A mi comité, muchas gracias, en especial al Dr. Guillermo Ortiz-Colón, gracias por aceptar ser parte de este proyecto, por siempre estar allí, por escucharme y ayudarme. Gracias a la Dra. Enid Arcelay Ruíz por también aceptar ser parte del comité de tesis durante este trayecto. Al Dr. Jaime Curbelo Rodríguez, gracias por ayudarme a aclarar dudas y preguntas. Gracias al personal de la Estación Experimental Finca Montaña por ayudarme durante la duración del experimento. A mi familia y amistades, gracias por su infinito apoyo y por las buenas vibras. A todos mis compañeros del Departamento de Ciencia Animal, gracias por ser parte de esta jornada y por el ánimo que siempre me brindaron. A Sugeily Franqui, Lorraine Vélez, Fabiola Semidei y Natalia Pérez, mis nenas, gracias por escucharme y apoyarme. Estoy orgullosa en quienes nos hemos convertido. Finalmente, a mi mejor amiga Jocelyn Ruelas: gracias por siempre estar allí aunque estemos a 3,437 millas de distancia. Eternamente agradecida.

# Tabla de Contenido

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 MIOSTATINA Y MUSCULATURA DOBLE .....	3
2.2 RAZA SENEPOL .....	5
2.3 TEMPERATURA CORPORAL .....	9
2.3.1 <i>Temperatura Timpánica</i> .....	10
2.3.2 <i>Temperatura Ruminal</i> .....	11
2.3.3 <i>Temperatura Rectal</i> .....	12
2.3.4 <i>Implantes Peritoneales y Abdominales</i> .....	13
2.3.5 <i>Temperatura Vaginal</i> .....	13
2.3.6 <i>Temperatura Superficial</i> .....	15
2.4 EFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL SOBRE LA AGRICULTURA TROPICAL .....	22
2.5 DISIPACIÓN DE CALOR Y ESTRÉS TÉRMICO EN EL GANADO.....	23
2.6 CONDICIONES AMBIENTALES .....	25
<b>3 METODOLOGÍA</b> .....	<b>29</b>
3.1 ANIMALES .....	29
3.2 TEMPERATURA VAGINAL.....	29
3.3 CONDICIONES AMBIENTALES.....	30
3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	32
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
4.1 TEMPERATURA VAGINAL.....	34
4.2 CONDICIONES AMBIENTALES.....	35
4.2.1 <i>Radiación Solar</i> .....	35
4.2.2 <i>Temperatura del Aire Bajo Sol y Bajo Sombra</i> .....	36
4.2.3 <i>Humedad Relativa Bajo Sol y Bajo Sombra</i> .....	38
4.2.4 <i>Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol y Bajo Sombra</i> .....	40
4.2.5 <i>Velocidad del Viento</i> .....	42
4.2.6 <i>Velocidad de Ráfaga</i> .....	43
4.2.7 <i>Relación entre las Condiciones Ambientales</i> .....	44
4.3 CORRELACIONES ENTRE LA TEMPERATURA VAGINAL Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....	46
4.3.1 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Radiación Solar</i> .....	46
4.3.2 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sol</i> .....	49
4.3.3 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sombra</i> .....	51
4.3.4 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Humedad Relativa Bajo Sol</i> .....	53
4.3.5 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Humedad Relativa Bajo Sombra</i> .....	55
4.3.6 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol</i> .....	57
4.3.7 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sombra</i> .....	59
4.3.8 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Velocidad del Viento</i> .....	61
4.3.9 <i>Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Velocidad del Ráfaga</i> .....	63
4.4 ANÁLISIS DE REGRESIÓN ENTRE LA TEMPERATURA VAGINAL Y LA TEMPERATURA DEL AIRE E ÍNDICE DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	65
4.4.1 <i>Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sol</i> .....	65
4.4.2 <i>Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sombra</i> .....	66
4.4.3 <i>Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol</i> .....	67
4.4.4 <i>Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sombra</i> .....	68
4.5 CORRELACIONES ENTRE LA RADIACIÓN SOLAR Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES .....	68
4.5.1 <i>Correlación entre la Radiación Solar y la Temperatura del Aire Bajo Sol</i> .....	69
4.5.2 <i>Correlación entre la Radiación Solar y la Temperatura del Aire Bajo Sombra</i> .....	71

4.5.3 Correlación entre la Radiación Solar y la Humedad Relativa Bajo Sol .....	73
4.5.4 Correlación entre la Radiación Solar y la Humedad Relativa Bajo Sombra.....	75
4.5.5 Correlación entre la Radiación Solar y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol .....	77
4.5.6 Correlación entre la Radiación Solar y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sombra .....	79
4.5.7 Correlación entre la Radiación Solar y la Velocidad del Viento .....	81
4.5.8 Correlación entre la Radiación Solar y la Velocidad de Ráfaga.....	83
<b>5 DISCUSIÓN .....</b>	<b>85</b>
5.1 TEMPERATURA VAGINAL.....	85
5.2 RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA VAGINAL Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....	88
5.3 RELACIÓN ENTRE LA RADIACIÓN SOLAR Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES.....	90
<b>6 CONCLUSIÓN .....</b>	<b>92</b>
<b>7 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Temperatura Corporal Previamente Reportados para Distintas Áreas Anatómicas en Ganado Bovino.....	16
Tabla 2. Coeficientes de correlación entre las diferentes condiciones ambientales medidas en tiempo real .....	45
Tabla 3. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la radiación solar en tiempo real y de retraso en vacas Senepol de musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.....	48
Tabla 4. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sol en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.....	50
Tabla 5. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sombra en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble. ....	52
Tabla 6. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa bajo sol en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble. ....	54
Tabla 7. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa bajo sombra en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble. ....	56
Tabla 8. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sol en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.....	58
Tabla 9. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sombra en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble. ....	60
Tabla 10. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble. ....	62
Tabla 11. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble. ....	64
Tabla 12. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la temperatura del aire bajo sol en tiempo real y de retraso.....	70
Tabla 13. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la temperatura del aire bajo sombra en tiempo real y de retraso. ....	72
Tabla 14. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la humedad relativa bajo sol en tiempo real y de retraso. ....	74
Tabla 15. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la humedad relativa bajo sombra en tiempo real y de retraso.....	76
Tabla 16. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y el índice de temperatura y humedad bajo sol en tiempo real y de retraso. ....	78
Tabla 17. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y el índice de temperatura y humedad bajo sombra en tiempo real y de retraso. ....	80
Tabla 18. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la velocidad del viento en tiempo	

real y de retraso.....	82
Tabla 19. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la velocidad de ráfaga en tiempo real y de retraso.....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Piranómetros (n= 2) utilizados en la presente investigación (Silicon Pyranometer Smart Sensor S-LIB-M003, Onset Computer Corporation; Bourne, MA, Estados Unidos).....	31
Figura 2. (A) Anemómetros (n= 2; Wind Speed Smart Sensor, S-WSA-M003 Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU), (B) registrador de temperatura y humedad relativa del aire (n=4; HOBO Pro V2 temp/RH Data Logger; Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU).....	32
Figura 3. Valores promedios de temperatura vaginal ( $\pm$ error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Genotipo x tiempo ( $P<0.0001$ ). El asterisco indica diferencias ( $P=0.0262$ ) entre genotipos en tiempos específicos. ....	35
Figura 4. Valores promedios radiación solar. ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	36
Figura 5. Valores promedios de temperatura del aire bajo sol ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	37
Figura 6. Valores promedios de temperatura del aire bajo sombra ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	38
Figura 7. Valores promedios de humedad relativa bajo sol ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	39
Figura 8. Valores promedios de humedad relativa bajo sombra ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	40
Figura 9. Valores promedios del índice de temperatura y humedad bajo sol ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	41
Figura 10. Valores promedios del índice de temperatura y humedad bajo sombra ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	42
Figura 11. Valores promedios de la velocidad del viento ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	43
Figura 12. Valores promedios de la velocidad de ráfaga ( $\pm$ errores estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P<0.0001$ ).....	44
Figura 13. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sol (promediadas por hora).....	65
Figura 14. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sombra (promediadas por hora). ....	66
Figura 15. Relación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sol (promediadas por hora). ....	67
Figura 16. Relación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sombra (promediadas por hora). ....	68

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

MD= Musculatura Doble  
MS= Musculatura Sencilla  
TVAG= Temperatura Vaginal  
RS= Radiación Solar  
TA= Temperatura del Aire  
HR= Humedad Relativa  
ITH= Índice de temperatura y humedad  
VV=Velocidad del Viento  
VR= Velocidad de Ráfaga  
h= hora

# 1 INTRODUCCIÓN

Históricamente, la raza Senepol es el resultado del cruce de las razas N'Dama y Red Poll, obteniéndose un animal altamente adaptado al clima tropical caribeño (Hupp, 1978). Características como tolerancia al calor y docilidad fueron impartidas por estas últimas razas al Senepol, respectivamente (Hupp, 1978). No obstante, estudios genéticos de Flori et al. (2012) indicaron que la raza Senepol es 89% europea, 10.4% Zebú y 0.6% de ascendencia Africana.

Esta raza fue introducida a Puerto Rico en 1983 con la intención de mejorar la industria de carne (Cianzio, 2002). Además de las características mencionadas anteriormente, la resistencia a insectos, buen rendimiento cárnico, buena producción de leche, ser acorne, de tamaño medio en adultez y poseer buena aptitud maternal fueron otras características que propulsaron diversos estudios en la isla (Hupp, 1978; Cianzio, 2002). Una mejor capacidad para tolerar condiciones climáticas tropicales con un mínimo impacto sobre la temperatura rectal, tasa respiratoria, cambio en peso y comportamiento en pastoreo en novillas Senepol en comparación con novillas Brahman y Holstein es un ejemplo de los resultados obtenidos (Hernández et al., 2002).

La miostatina es una proteína expresada en el músculo esquelético, tanto en el desarrollo temprano como en la adultez (Kambadur et al., 1997). Una mutación que inactiva esta proteína es la causante del fenotipo de doble musculatura en ganado de carne, debido a que la miostatina es un regulador negativo de crecimiento muscular (Grobet et al., 1997; Kambadur et al., 1997; McPherron et al., 1997a). La inactivación de este gen resulta en un aumento masivo de masa músculo esquelético, causando una combinación de hiperplasia e hipertrofia muscular (Grobet et al., 1997; McPherron et al., 1997a). El fenotipo de doble musculatura ha sido identificado en distintas razas, entre estas la Senepol.

Actualmente se desconoce si estas diferencias en conformación corporal pueden afectar la termorregulación en esta raza. Por lo tanto, el presente estudio cuantificó el efecto de las condiciones ambientales en vacas Senepol de musculatura doble (**MD**) y en contemporáneas de musculatura sencilla (**MS**).

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Miostatina y Musculatura Doble

La miostatina, miembro de la superfamilia de factor de crecimiento beta (TGF- $\beta$ ) (Smith et al., 1997), es una proteína expresada en el músculo esquelético tanto en el desarrollo temprano como en adultez (Kambadur et al., 1997). La ausencia de esta proteína es la causante del fenotipo de musculatura doble en ganado de carne ya que es catalogada como un regulador negativo de crecimiento muscular (Grobet et al., 1997; Kambadur et al., 1997; McPherron et al., 1997a). De hecho, esta proteína afecta las células musculares inhibiendo la proliferación del mioblasto al controlar las transiciones de G1 a S y de G2 a M en el ciclo celular (Langley et al., 2002). Thomas et al. (2000) propusieron que como resultado de esta inhibición ocurre un aumento en la velocidad de proliferación de los mioblastos y un retraso en su diferenciación terminal. Por esto, la inactivación de este gen resulta en un aumento masivo de masa músculo esquelético, causando una combinación de hiperplasia e hipertrofia muscular (Grobet et al., 1997; McPherron et al., 1997a).

El fenotipo de doble musculatura ha sido documentado desde hace cerca de 200 años (Arnold et al., 2001). Charlier et al. (1995) encontraron que el gen asociado con este fenotipo se encuentra en el cromosoma dos en la raza Azul Belga, lo cual fue secundado por Smith et al. (1997) en cromosomas artificiales de levadura (Yeast Artificial Chromosomes). McPherron et al. (1997b) identificaron la mutación por primera vez en el ganado Piemontés y Azul Belga. Otras razas como Asturiana de los Valles, Charolais, Maine-Anjou y Senepol han sido identificadas como poseedoras de esta mutación (Grobet et al., 1997 y 1998).

Existen tres posibles genotipos de miostatina: el homocigoto de musculatura sencilla, el cual contiene cero copias del alelo de miostatina inactivo; el heterocigoto, el cual tiene una copia

del alelo de miostatina inactiva por mutación y el homocigoto para la miostatina inactiva, el cual posee dos copias del alelo mutado (Howard et al., 2013). En el primer genotipo se observa la musculatura normal de las razas que no poseen la característica de doble musculatura. Sin embargo, en animales poseedores de dos copias del alelo mutado (musculatura doble), se observa una canal con alta musculatura y una carne sumamente magra (Short et al., 2002; Casas et al., 2004). Por otro lado, animales con una sola copia del alelo producen una canal con musculatura y contenido de grasa a un nivel intermedio entre los dos fenotipos previamente descritos (Short et al., 2002; Casas et al., 2004). Los animales con doble musculatura exhiben una mejor conformación (relación carne – hueso) que los de musculatura normal, por lo que son animales más compactos (Fiems, 2012).

Cabe mencionar que la hipertrofia muscular no es similar para todos los músculos, pudiendo variar desde 8 a 51% en los cuartos delanteros y desde 9 a 34% en los cuartos traseros (Dumont et al., 1982). Por otro lado, los animales con doble musculatura presentan una disminución en el tamaño de sus huesos en comparación con animales de musculatura normal (Vissac et al., 1968; Ansay y Hanset, 1979). La combinación entre hipertrofia muscular y reducción en el peso de los huesos resulta en un mejor rendimiento cárnico (Fiems, 2012). Por otro lado, se ha encontrado que animales de doble musculatura poseen una menor cantidad de colágeno en comparación con animales de musculatura normal, lo cual está asociado con un aumento en la ternura de la carne (Bailey et al., 1982; Wheeler et al., 2001 y Fiems, 2012).

La característica de huesos pequeños en animales con doble musculatura tiene consecuencias en sus patas, afectando así su locomoción (Fiems, 2012). Como resultado, los huesos sostienen una mayor cantidad de peso (Ansay y Hanset, 1979) y, debido a que poseen menor cantidad de colágeno en sus tejidos, la fortaleza de sus huesos puede verse reducida (Fiems,

2012). También, en estos animales se ha encontrado una menor densidad capilar, la cual es crítica para transportar nutrientes a los huesos y pezuñas (Fiems, 2012).

La reducción en el tamaño de los huesos en animales homocigotos con doble musculatura puede tener también repercusiones en su reproducción. Disminuciones en el área pélvica tanto en ganado Piemontés portadores de la mutación del gen de miostatina como en ganado Charolais y otros cruces (10 y 6%, respectivamente) han sido reportadas (Vissac et al., 1973; Arthur et al., 1988 y Short et al., 2002). Esto, junto a un mayor tamaño fetal, aumenta la incidencia de partos distócicos y muertes neonatales en animales homocigotos con doble musculatura (Arthur et al., 1988; Fiems et al., 2001 y Mao et al., 2008). Aún más, en razas poseedoras de doble musculatura como, por ejemplo, el Azul Belga, una cesárea es necesaria en muchos casos al parto no poder efectuarse naturalmente (Kolkman et al., 2007). Las cesáreas pueden reducir la fertilidad futura debido a la formación de adherencias uterinas (Vermunt, 2008). Por otro lado, la formación de cicatrices producto del procedimiento de la cesárea puede aumentar la probabilidad de abortos debido a la expansión inadecuada del útero y un suministro nutricional inadecuado al feto (Chupin, 1982).

## **2.2 Raza Senepol**

Inicialmente, en su Reporte en la Estación Experimental Agrícola de Islas Vírgenes, Hupp (1978) describió el origen de la raza Senepol. Según descrito por este autor, el desarrollo de esta raza comenzó al cruzar las razas Red Poll y N'Dama en la Isla de Santa Cruz. Con esto se buscaba obtener una raza con alta adaptabilidad al clima tropical caribeño. La raza N'Dama aportó las características de tolerancia al calor y resistencia a insectos, mientras que la raza Red Poll aportó su docilidad, buen rendimiento cárnico y su buena producción de leche. Para el 1918, Bromley Nelthropp de la isla de Santa Cruz, comenzó a cruzar estas razas seleccionando para color rojo,

madurez temprana, buena conformación, docilidad y tolerancia al calor. Para el año 1949 su hato Senepol se había dispersado por toda la isla (Hupp, 1978).

Flori et al. (2012) realizaron la genotificación de 153 ejemplares de la raza Senepol y combinaron sus resultados con datos de 18 poblaciones existentes representativas de ganado N'Dama (africana), Red Poll (europea) y Zebú. Contrario a lo históricamente establecido, estos encontraron que la raza Senepol tenía un 89% de ascendencia europea, un 10.4% de ascendencia Zebú y un 0.6% de ascendencia africana. Asimismo, de Alba (1987) sugirió que el ganado Criollo de ascendencia europea importado desde la isla de Vieques, Puerto Rico hacia la isla de Santa Cruz contribuyó al desarrollo de la raza Senepol.

En 1983, el Dr. Danilo Cianzio, junto al Departamento de Ciencia Animal (en ese entonces conocido como Departamento Industria Pecuaria) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, introdujo la raza Senepol a Puerto Rico con la intención de mejorar la industria de carne (Cianzio, 2002). Esta raza llamó la atención del Colegio de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico debido a las características mencionadas anteriormente, además de su clasificación taxonómica (*Bos taurus*), no poseer cuernos, ser de tamaño mediano cuando adulto y poseer buena aptitud maternal (Cianzio, 2002). Posteriormente, se realizaron estudios en donde la raza fue cruzada con otras razas en la isla como Charbray y Brahman (Cianzio, 2002). Estudios realizados que utilizaron vacas Senepol, Charbray y F1 cruzadas (Senepol x Charbray) encontraron un mayor por ciento (%) de destete y un mayor índice de productividad (becerro destetado/vaca empadronada) cuando las vacas eran empadronadas con toros Senepol en comparación con toros Charbray (Cianzio, 2002). Además, se encontró una capacidad superior para tolerar condiciones climáticas tropicales al monitorear la temperatura rectal, tasa respiratoria,

cambio en peso y comportamiento en pastoreo en novillas Senepol en comparación con novillas Brahman y Holstein (Hernández et al., 2002).

Por años se ha estudiado la capacidad termorreguladora en el ganado y se ha observado una gran variabilidad en la tolerancia al calor entre distintas razas. En el 1997, Olson et al. describieron la forma en que se hereda el largo del pelo en la raza Senepol y en razas Criollas. El animal portador de este genotipo exhibía un pelaje sumamente corto y brillante. Por otro lado, al estudiar el ganado Senepol se reportó que tenían la misma capacidad de tolerancia al calor que el ganado Brahman, la cual es una raza *Bos indicus* sumamente adaptada al trópico (Hammond et al., 1996; Hernández et al., 2002). Estudios en los cuales se cruzaron razas con diferentes tipos de pelo (tabla 1) mostraron la segregación de la progenie en dos grupos, un grupo con pelo liso, corto y brillante y el otro grupo con el pelo típico de un *Bos taurus* (Olson et al., 2003). Estos estudios sugirieron la influencia de un gen capaz de influir la tolerancia al calor en ganado *Bos taurus*. Este gen se encontró en el cromosoma bovino 20 en ganado derivado de la raza Senepol y se conoce como “slick hair gene” (Mariasegaram et al., 2007). La descripción de este gen ha abierto las puertas para que más estudios se lleven a cabo ya que éste se puede incorporar a otras razas pertenecientes al *Bos taurus*.

Se ha encontrado que animales Senepol y cruces de Holstein x Carora con pelo corto, liso y brillante mantienen temperaturas rectales 0.5°C más bajas, mejor tasa de crecimiento y una producción de leche mayor, en comparación con sus contemporáneos de pelo normal (Olson et al., 1997; Lucena et al., 2000). En otro estudio se observó que vacas de la raza Carora, provenientes de Venezuela, y cruces entre Carora x Holstein con el fenotipo pelón (pelo corto, liso y brillante) exhibieron menor temperatura corporal en comparación con animales similares de pelo normal (Olson et al., 2003). Además, en este cruce (Carora x Holstein) se ha observado una mayor

producción de leche en comparación con animales similares de pelo normal (Olson et al., 2003). Dikmen et al. (2008) evaluaron la temperatura vaginal (**TVAG**), la tasa respiratoria, la temperatura corporal externa y la tasa de sudoración en vacas Senepol x Holstein con fenotipo pelón y en vacas similares con fenotipo de pelo normal. Ellos compararon sus respuestas fisiológicas bajo condiciones de sombra o de exposición indirecta al sol (utilizaron un paño de sombra que reducía en un 73% la radiación solar (**RS**)). Se encontró que las vacas pelonas tuvieron temperaturas vaginales menores (bajo sombra: 39.0 vs. 39.4°C; exposición indirecta al sol: 39.6 vs. 40.2°C) y menor tasa de respiración (bajo sombra: 67 vs. 79 respiraciones/min; exposición indirecta al sol: 97 vs. 107 respiraciones/min) en comparación con las vacas de fenotipo de pelo normal. Con relación a la tasa de sudoración, se encontró que vacas con el gen pelón exhibieron mayor sudoración en comparación con las de fenotipo de pelo normal. Esta diferencia quedó anulada al afeitar un área similar en ambos fenotipos. Se concluyó que las vacas con el gen pelón mostraban menor cantidad de aire húmedo atrapado en el pelaje, lo cual permite mayor evaporación de agua proveniente del sudor, permitiendo así una mayor sudoración.

En el 2014, Dikmen et al. realizaron un experimento con el propósito de evaluar las posibles diferencias en termorregulación entre vacas Senepol x Holstein con pelo corto, vacas Senepol x Holstein con pelo normal (pero con parentales poseedores del gen pelón) y vacas Holstein puras con pelo normal. En este se encontró que vacas con el fenotipo pelón mantuvieron temperaturas vaginales más bajas en comparación con los otros grupos de vacas evaluados. Los animales fueron expuestos al ambiente exterior para evaluar el efecto del estrés por calor. Se encontró que animales con el fenotipo pelón tuvieron un alza en su tasa respiratoria y en su temperatura rectal menor que las observadas en sus contemporáneas de pelo normal. También se encontró, al igual que en el experimento de Dikmen et al. (2008), que la tasa de sudoración fue mayor en vacas pelonas que

en vacas de pelo regular. De estas investigaciones se infiere que las vacas con el gen pelón tienen una mayor capacidad para sudar, en comparación con vacas de fenotipo normal.

Otras razas de América Latina poseedoras de pelo corto son: Criollo Limonero (Florio, 2008) y Carora, ambas de Venezuela, (Olson et al., 2003; Florio, 2008), Criollo Yacumeño de Bolivia, Criollo Ecuatoriano, Criollo Peruano, Caracú de Brasil (Primo, 1992) y Criollo Romosinuano de Colombia (Martínez, 1998). Esta última raza fue utilizada por Hammond et al. (1996) para estudiar la tolerancia al calor en razas *Bos taurus* de pelo normal (Angus y Hereford), *Bos indicus* (Brahman), *Bos taurus* tropical de pelo corto (Senepol y Romosinuano) y cruces entre Hereford y Senepol. Ellos encontraron que las novillas de las razas Senepol, Romosinuano y cruces entre Hereford y Senepol exhibieron menores temperaturas rectales en comparación con los demás animales. Así mismo una menor tasa de respiración fue observada en animales Senepol y Romosinuano en comparación con animales Angus.

## **2.3 Temperatura Corporal**

Los mamíferos, como estrategia termorreguladora, mantienen su temperatura corporal interna más alta que la temperatura ambiental para poder permitir la salida del calor mediante cuatro rutas de intercambio: conducción, convección, radiación y evaporación (Collier et al., 2006). Por esto, según la temperatura del aire (**TA**) aumenta, el gradiente para disipación de calor corporal se va limitando y el animal comienza a acumular calor (Collier et al., 2006). Si la temperatura superficial de la piel es menor de 35°C, el gradiente de temperatura entre la piel y la parte interna del cuerpo es lo suficientemente grande para que el animal use las cuatro rutas de intercambio de calor (Collier et al., 2006).

El monitoreo de la temperatura corporal interna del animal es de gran utilidad ya que puede ayudar a detectar enfermedades, estrés por calor, problemas fisiológicos (Prendiville et al., 2003) y la incidencia de estro (Fordham et al., 1988). Hahn et al. (1990) sugirieron utilizar la temperatura corporal interna en vez de la externa para así poder reflejar los cambios en ésta a causa de las condiciones ambientales. El uso de la temperatura interna tiene como ventaja el estar aislada de factores externos y al medir de manera *in vivo*, se pueden obtener datos continuos (Sievers et al., 2005). La temperatura corporal interna ha sido medida en diversas partes del animal, incluyendo el recto, vagina, tímpano, retículo-rumen y ubre (Bewley et al., 2008a).

A continuación, se presentan los principales métodos utilizados para medir temperatura corporal en bovinos.

### **2.3.1 Temperatura Timpánica**

Guidry et al. (1966) compararon la temperatura timpánica con la temperatura rectal en bovinos en términos de la velocidad de respuesta a un estímulo interno (hielo en el rumen) encontrando que la temperatura timpánica se redujo más rápido en comparación con la rectal (2-4 vs. 15 minutos, respectivamente). Sin embargo, Prendiville et al. (2003) no observaron diferencias significativas entre la temperatura rectal y la timpánica; mientras que Davis et al. (2003b) reportaron que la temperatura timpánica fue 0.1 a 0.2°C menor que la rectal. También se ha comparado la temperatura timpánica y vaginal, encontrando una alta correlación entre ellas (0.77;  $P=0.88$ ; Bergen y Kennedy, 2000). Además, diversos autores han utilizado exitosamente la temperatura timpánica en ganado de carne como un indicador de la respuesta fisiológica, como por ejemplo del estrés por calor ante diferentes escenarios nutricionales (Hahn et al., 1990; Davis et al., 2003a; Arias et al., 2011) y a diversas condiciones ambientales (Hahn et al., 1990; Davis et al., 2003a; Mader et al., 2006a; Howard et al., 2013). También, Howard et al. (2013) utilizó la

temperatura timpánica para evaluar el impacto del genotipo para miostatina (doble musculatura) sobre la temperatura corporal del animal.

Sin embargo, a pesar de todas sus ventajas, la utilización de la temperatura timpánica como indicador de temperatura corporal podría no ser tan efectiva debido a lo invasivo del método, pudiendo afectar los datos obtenidos (Burdick et al., 2012). Este método requiere de una ardua labor durante la colocación del equipo en animales (Rose-Dye et al., 2011). Además, suele ser dificultoso medir la temperatura continuamente por un periodo prolongado de tiempo debido al desplazamiento del equipo y al posible desarrollo de infecciones en el canal auditivo (Bergen et al., 2000). Por esto, se recomienda remover este después de siete a diez días para evitar infecciones de oído y aunque existe la opción de utilizar el otro oído para medir la temperatura timpánica, esto resultaría en un aumento en el estrés del animal (Brown-Brandl et al., 2001).

### **2.3.2 Temperatura Ruminal**

La temperatura ruminal ha sido utilizada por diversos autores como un índice de la respuesta de la temperatura corporal interna a condiciones ambientales estresantes (Beatty et al., 2008) y a procesos reproductivos (Cooper-Prado et al., 2011). Se ha encontrado que el aumento en la temperatura ruminal que ocurre como respuesta al estrés por calor en novillas de carne, resulta en una reducción en el consumo de alimento y en un aumento en el consumo de agua (Beatty et al., 2008). Además, Cooper-Prado et al. (2011) observaron una disminución en temperatura ruminal uno a dos días antes del parto y un aumento en la misma durante las primeras 8 h del estro en vacas de carne. Por otro lado, también se ha encontrado que la temperatura ruminal tiene potencial como una herramienta de detección de problemas de salud, en este caso la Diarrea Viral Bovina (Rose-Dye et al., 2011). Sin embargo, aunque la temperatura ruminal es un buen indicador de la temperatura corporal, esta puede ser afectada por temperaturas ambientales elevadas

(Boehmer et al., 2015), así como por el consumo de agua (Cooper-Prado et al., 2011). Se ha encontrado que ocurren descensos prolongados en este tipo de temperatura, los cuales son dependientes de la cantidad y temperatura del agua consumida (Brod et al., 1982; Bewley et al., 2008b).

La utilización de telemetría y bolos ruminales permite que se obtengan datos continuos de temperatura ruminal en un gran número de animales causando poco impacto en el físico, en el comportamiento y en la temperatura corporal de estos al tomar las medidas (Cooper-Prado et al., 2011). No obstante, se debe tener en cuenta que la temperatura en el rumen puede fluctuar con un gradiente de mayor a menor desde la parte superior y media hasta la parte inferior del rumen (Dale et al., 1954). También el tipo de dieta ofrecida junto a la actividad de producción de calor a cargo de microorganismos del rumen podrían influenciar considerablemente los valores obtenidos (Prendiville et al., 2003; AlZahal et al., 2011).

### **2.3.3 Temperatura Rectal**

La utilización de la temperatura rectal como un indicador de la temperatura corporal ha sido la más común a través del tiempo (Brown-Brandl et al., 2001). Entre sus ventajas, con este método es fácil de obtener medidas y el mismo no es invasivo (Brown-Brandl et al., 2001). De hecho, este se ha utilizado en ganado de carne para determinar el efecto de las altas temperaturas ambientales sobre la tasa de concepción después del parto (Dunlap y Vincent, 1971); como índice de tolerancia a calor (Hammond et al., 1993); para evaluar el consumo de materia seca, ingesta metabólica y respuestas fisiológicas en estrés por calor mientras dietas que varían en niveles de energía y densidad son administradas (Mader et al., 1999a) y para comparar animales con diferentes fenotipos de pelaje (Olson et al., 2002 y 2003), entre otros. Sin embargo, la temperatura

rectal también puede presentar desventajas considerables. La ausencia o presencia de heces en el recto, posibles lesiones rectales, el gran consumo de tiempo y el considerable requerimiento de labor puede afectar el uso y confiabilidad de este (Hahn et al., 1990; Liang et al., 2013). También, para poder medir la temperatura rectal es necesario restringir al animal por un periodo de tiempo. Al hacer esto el animal puede entrar en estrés y a su vez alterar su temperatura corporal (Hahn et al., 1990; Prendiville et al., 2003).

#### **2.3.4 Implantes Peritoneales y Abdominales**

Además de los métodos mencionados anteriormente, la temperatura corporal interna puede ser medida a través de colocación de implantes en las cavidades peritoneales y abdominales. Al-Haidary et al. (2001), utilizando la cavidad peritoneal, midieron la habilidad termorreguladora en ganado de carne al exponerse a distintas dietas y Davis et al. (2003b) compararon temperatura peritoneal con las temperaturas rectal y timpánica a diferentes temperaturas ambientales encontrando una correlación de 0.75 ( $P < 0.01$ ) entre los últimos dos métodos temperatura corporal. Por otro lado, Brown-Brandl et al. (2005) utilizaron la temperatura de la cavidad abdominal para evaluar la capacidad termorreguladora y actividad de consumo de ganado de carne bajo temperaturas termoneutrales y calientes. Aunque con ambos métodos se pueden obtener datos útiles, estos resultan ser sumamente invasivos para los animales (Vickers et al., 2010).

#### **2.3.5 Temperatura Vaginal**

El uso de la TVAG como método para determinar la temperatura corporal interna en vacunos se ha vuelto muy común en los últimos años. Vickers et al. (2010) compararon las temperaturas vaginal y rectal bovinas encontrando una relación positiva entre ambas, la cual fluctúa entre 0.46 ( $P < 0.001$ ) y 0.81 ( $P < 0.001$ ), dependiendo de la cantidad de días en leche.

Además, relaciones similares han sido observadas entre la TVAG y la timpánica ( $r = 0.77$  ( $P < 0.01$ ), Bergen et al., 2000 y  $r = 0.83$  ( $P < 0.0001$ ), McGee et al., 2008) en novillas y vacas, respectivamente. También, esta temperatura ha sido utilizada por diversos investigadores para predecir el estro en vacas de carne (Kyle et al., 1998) y para estudiar sus patrones de temperatura corporal alrededor de este evento reproductivo en ganado lechero (Suthar et al., 2011). También, Aoki et al. (2005) hicieron uso de esta como herramienta para predecir el parto. Otros autores han empleado la TVAG para estudiar las respuestas fisiológicas del ganado a diferentes temperaturas ambientales. Bergen et al. (2001) y Kennedy et al. (2005) escogieron temperaturas frías para estudiar su efecto sobre la temperatura corporal interna y la producción de calor en reposo a través de la TVAG. Por otro lado, Howard et al. (2013) estudiaron el impacto del genotipo para miostatina usando este método de medir temperatura corporal en novillas expuestas a temperaturas extremas (altas y bajas). Similarmente, en Puerto Rico, Suero et al. (2016) midieron la TVAG para comparar diferentes tipos de pelaje y genotipos para miostatina en vacas Senepol.

Actualmente, al medir TVAG se utilizan recolectores de datos (“data loggers”), los cuales facilitan la toma y almacenamiento de medidas frecuentes por largos periodos tiempo. Además, esto no representa un método realmente invasivo y permite utilizar los instrumentos de medida nuevamente, sin tener que sacrificar el animal. Bajo este método las vacas solo son restringidas a la hora (h) de insertar el termómetro y a la h de removerlo. Esto ayuda a obtener medidas más confiables minimizando el efecto del estrés que pueda causar la restricción física.

### **2.3.6 Temperatura Superficial**

Además de medir temperatura corporal de forma interna, esta se puede medir también de forma externa. Se han utilizado diferentes áreas anatómicas del animal para obtener medidas de su temperatura superficial (Finch, 1986; Al-Haidary et al., 2001; Davis et al., 2003b; Mader et al., 2006b; Suero et al., 2016).

A continuación, la tabla 1 presenta una revisión literaria de un grupo selecto de investigaciones científicas que han utilizado estos métodos en ganado bovino.

**Tabla 1. Valores de Temperatura Corporal Previamente Reportados para Distintas Áreas Anatómicas en Ganado Bovino.**

<b>Temperatura Corporal</b>					
<b>Interna</b>					
<b>Genotipo, Clasificación</b>	<b>Localización Geográfica</b>	<b>Condiciones Ambientales<sup>a</sup></b>	<b>Área Anatómica</b>	<b>Temperatura Corporal, °C</b>	<b>Referencia</b>
Hereford, novillas	Louisiana, EEUU	21.1≤TA≤32.2	Rectal	38.50-40.80	Dunlap et al., 1971
<i>Bos taurus</i> , toretes	Nebraska, EEUU	10.0≤TA≤30.0	Rectal	39.0-40.60	Hahn et al., 1990
Angus, vacas	Florida, EEUU	25.3≤TA≤28.3	Rectal	40.20	Hammond et al., 1993
Brahman, vacas	Florida, EEUU	25.3≤TA≤28.3	Rectal	39.30	Hammond et al., 1993
Hereford, vacas	Florida, EEUU	25.3≤TA≤28.3	Rectal	39.40	Hammond et al., 1993
Senepol, vacas	Florida, EEUU	25.3≤TA≤28.3	Rectal	38.90	Hammond et al., 1993
Angus, novillas	Florida, EEUU	28.6≤TA≤30.3	Rectal	39.90	Hammond et al., 1993
Brahman, novillas	Florida, EEUU	28.6≤TA≤30.3	Rectal	39.40	Hammond et al., 1993
Hereford, novillas	Florida, EEUU	28.6≤TA≤30.3	Rectal	39.80	Hammond et al., 1993
Senepol, novillas	Florida, EEUU	28.6≤TA≤30.3	Rectal	39.00	Hammond et al., 1993
Hereford, becerros	Florida, EEUU	27.8≤TA≤33.3	Rectal	40.60	Hammond et al., 1993
Senepol, becerros	Florida, EEUU	27.8≤TA≤33.3	Rectal	39.60	Hammond et al., 1993
Hereford x Senepol <sup>b</sup> , becerros	Florida, EEUU	27.8≤TA≤33.3	Rectal	39.80	Hammond et al., 1993
Senepol x Hereford <sup>b</sup> , becerros	Florida, EEUU	27.8≤TA≤33.3	Rectal	39.70	Hammond et al., 1993
Angus, novillas	Florida, EEUU	63.0≤ITH≤85.0	Rectal	40.1-40.4	Hammond et al., 1996
Brahman, novillas	Florida, EEUU	63.0≤ITH≤85.0	Rectal	39.20-39.60	Hammond et al., 1996
Hereford, novillas	Florida, EEUU	63.0≤ITH≤85.0	Rectal	40.20	Hammond et al., 1996
Romosinuano, novillas	Florida, EEUU	63.0≤ITH≤85.0	Rectal	39.50	Hammond et al., 1996
Senepol, novillas	Florida, EEUU	63.0≤ITH≤85.0	Rectal	39.10-39.20	Hammond et al., 1996

Hereford x Senepol <sup>b</sup> , novillas	Florida, EEUU	63.0≤ITH≤85.0	Rectal	39.30	Hammond et al., 1996
Senepol x Senepol <sup>b</sup> , novillas	Florida, EEUU	63.0≤ITH≤85.0	Rectal	39.50	Hammond et al., 1996
Hereford, toretes	Gatton, Australia	24.5≤TA≤33.4	Rectal	39.60-40.90	Mader et al., 1999
Hereford, novillas	Missouri, EEUU	21.0≤TA≤31.0	Rectal	38.20-39.0	Al-Haidary et al., 2001
Senepol x Holstein Normales <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	21.0≤TA≤35.5	Rectal	39.32	Olson et al., 2002
Senepol x Holstein Pelonas <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	21.0≤TA≤35.5	Rectal	38.99	Olson et al., 2002
Angus x (Senepol x Hereford) <sup>b</sup> de pelo normal, becerros	Florida, EEUU	23.0≤TA≤33.5	Rectal	39.03-39.98	Olson et al., 2003
Angus x (Senepol x Hereford) <sup>b</sup> pelones, becerros	Florida, EEUU	23.0≤TA≤33.5	Rectal	38.82-39.45	Olson et al., 2003
Angus, becerros	Florida, EEUU	23.0≤TA≤33.5	Rectal	39.15-40.20	Olson et al., 2003
Charolais x (Brahman x Angus) <sup>b</sup> , becerros	Florida, EEUU	30.0≤TA≤36.0	Rectal	39.98-40.28	Olson et al., 2003
Charolais x (Senepol x Angus) <sup>b</sup> , becerros	Florida, EEUU	30.0≤TA≤36.0	Rectal	40.07-40.50	Olson et al., 2003
Charolais x (Tuli x Angus) <sup>b</sup> , becerros	Florida, EEUU	30.0≤TA≤36.0	Rectal	39.60-40.44	Olson et al., 2003
Angus, toretes	Kentucky, EEUU	29.9≤TA≤30.7	Rectal	38.90-39.70	Davis et al., 2003b
Murray Grey x Hereford <sup>b</sup> , toretes	Gatton, Australia	23.4≤TA≤38.4	Rectal	38.68-39.20	Gaughan et al., 2008
Brahman, novillas	Texas, EEUU	17.0≤TA≤27.0	Rectal	39.20-39.40	Burdick et al., 2011
Angus, vacas	Florida, EEUU	24.0≤TA≤34.0	Rectal	36.60-41.90	Riley et al., 2012
Brahman, vacas	Florida, EEUU	24.0≤TA≤34.0	Rectal	36.80-41.00	Riley et al., 2012

Romosinuano, vacas	Florida, EEUU	$24.0 \leq TA \leq 34.0$	Rectal	37.80-40.00	Riley et al., 2012
Brahman x Angus <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	$24.0 \leq TA \leq 34.0$	Rectal	37.90-41.10	Riley et al., 2012
Angus x Brahman <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	$24.0 \leq TA \leq 34.0$	Rectal	37.90-40.70	Riley et al., 2012
Brahman x Romosinuano <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	$24.0 \leq TA \leq 34.0$	Rectal	37.20-39.70	Riley et al., 2012
Romosinuano x Brahman <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	$24.0 \leq TA \leq 34.0$	Rectal	37.40-39.90	Riley et al., 2012
Romosianuano x Angus <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	$24.0 \leq TA \leq 34.0$	Rectal	37.70-40.70	Riley et al., 2012
Angus x Romosinuano <sup>b</sup> , vacas	Florida, EEUU	$24.0 \leq TA \leq 34.0$	Rectal	38.10-40.70	Riley et al., 2012
Angus, vacas	Oklahoma, EEUU	$2.0 \leq TA \leq 37$	Rectal	38.10-40.80	Boehmer et al., 2015
Senepol Musculatura Doble, toros	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica <sup>c</sup>	Rectal	38.06-39.17	Suero et al., 2016
Senepol Musculatura Sencilla, toros	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica	Rectal	37.99-38.88	Suero et al., 2016
Cruce con Hereford, vacas	Canadá	$-6.4 \leq TA \leq 6.7$	Vaginal	38.10-39.00	Kyle et al., 1998
Cruces tipo carne, novillas	Manitoba, Canadá	No especifica	Vaginal	38.08-39.78	Bergen et al., 2000
Cruces tipo carne, novillas	Alberta, Canadá	$-15.0 \leq TA \leq 22.0$	Vaginal	38.44-39.17	Bergen et al., 2001
Japanese Black x Holstein-Friesian <sup>b</sup> , vacas	Japón	$5.5 \leq TA \leq 22.9$	Vaginal	37.80-39.80	Aoki et al., 2005
Cruces tipo carne, novillas	Alberta, Canadá	$3.0 \leq TA \leq 21.7$	Vaginal	38.26-39.08	Kennedy et al., 2005
Cruces tipo carne, vacas	Nebraska, EEUU	$17.0 \leq TA \leq 34.2$	Vaginal	37.90-39.40	McGee et al., 2008
Brahman, novillas	Texas, EEUU	$17.0 \leq TA \leq 27.0$	Vaginal	38.50-39.20	Burdick et al., 2011
Cruces tipo carne, vacas	Nebraska, EEUU	$4.7 \leq TA \leq 24.3$	Vaginal	38.66-39.04	Howard et al., 2013
Brahman, vacas	Texas, EEUU	$14.1 \leq TA \leq 31.2$	Vaginal	38.20-39.90	Price et al., 2015
Senepol Musculatura Doble, vacas	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica	Vaginal	38.35-38.75	Suero, 2016

Senepol Musculatura Sencilla vacas	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica	Vaginal	38.30-38.85	Suero, 2016
Senepol Homocigoto para Pelo Corto, vacas	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica	Vaginal	38.35-38.85	Suero, 2016
Senepol Heterocigoto para Pelo Corto, vacas	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica	Vaginal	38.25-38.76	Suero, 2016
Cruce tipo carne con Angus, novillas	Región Oeste, Australia	$15 \leq \text{WBT} \leq 25.1$	Ruminal	40.5-42.10	Beatty et al., 2008
Angus, vacas	Oklahoma, EEUU	$2.0 \leq \text{TA} \leq 25.0$	Ruminal	38.22-39.01	Cooper-Prado et al., 2011
Angus, toretes	Oklahoma, EEUU	No especifica	Ruminal	34.20-41.60	Rose-Dye et al., 2011
Angus, vacas	Oklahoma, EEUU	$2.0 \leq \text{TA} \leq 37.0$	Ruminal	37.50-40.20	Boehmer et al., 2015
<i>Bos taurus</i> , toretes	Nebraska, EEUU	$10.0 \leq \text{TA} \leq 30.0$	Timpánica	37.50-39.60	Hahn et al., 1990
Cruces tipo carne, novillas	Manitoba, Canadá		Timpánica	38.04-39.05	Bergen et al., 2000
Angus x Charolais, toretes	Nebraska, EEUU	$14.3 \leq \text{TA} \leq 36.8$	Timpánica	38.40-40.30	Davis et al., 2003a
Cruces tipo carne con Angus, toretes	Nebraska, EEUU	$20.9 \leq \text{TA} \leq 33.4$	Timpánica	38.30-40.40	Davis et al., 2003a
British x Continental, toretes	Nebraska, EEUU	$17.6 \leq \text{TA} \leq 32.9$	Timpánica	38.30-40.60	Davis et al., 2003a
Angus, toretes	Kentucky, EEUU	$29.9 \leq \text{TA} \leq 30.7$	Timpánica	38.50-39.20	Davis et al., 2003b
Cruces tipo carne con Angus, novillas	Nebraska, EEUU	$-9.6 \leq \text{TA} \leq 34.2$	Timpánica	37.62-40.44	Mader et al., 2006b
Cruces tipo carne con Angus, toretes	Nebraska, EEUU	$17.6 \leq \text{TA} \leq 34.0$	Timpánica	38.40-40.20	Mader et al., 2010

Angus y Cruces tipo carne con Angus, toretes	Nebraska, EEUU	$-13.8 \leq TA \leq 32.1$	Timpánica	37.9-39.70	Arias et al., 2011
Cruces tipo carne, toretes	Nebraska, EEUU	$-13.9 \leq TA \leq 26.8$	Timpánica	38.14-38.83	Howard et al., 2013
Cruces tipo carne, toretes	Nebraska, EEUU	$13.0 \leq TA \leq 26.0$	Peritoneal	38.33-39.89	Lefcourt et al., 1996
Angus, toretes	Kentucky, EEUU	$29.9 \leq TA \leq 30.7$	Peritoneal	37.50-38.70	Davis et al., 2003b
Hereford, novillas	Missouri, EEUU	$21.0 \leq TA \leq 31.0$	Peritoneal	38.40-39.30	Al-Haidary et al., 2001
Cruces tipo carne con Angus, novillas	Australia	$12.0 \leq WBT \leq 25.1$	Peritoneal	38.60-40.40	Beatty et al., 2008
Cruces tipo carne, toretes	Nebraska, EEUU	$59 \leq ITH \leq 86$	Abdominal	37.50-39.10	Brown-Brandl et al., 2005
<b>Superficial</b>					
Brahman x Hereford-Shorthorn, no especifica	No especifica	TEA=44	Piel/pelo alrededor del pecho	37.60-39.00	Finch, 1986
Hereford, novillas	Missouri, EEUU	$21.0 \leq TA \leq 31.0$	Piel del hombro, cadera y espalda	32.60-38.10	Al-Haidary et al., 2001
Hereford, novillas	Missouri, EEUU	$21.0 \leq TA \leq 31.0$	Piel del rabo	29.80-37.20	Al-Haidary et al., 2001
Hereford, novillas	Missouri, EEUU	$21.0 \leq TA \leq 31.0$	Piel de la banda coronaria	29.30-36.40	Al-Haidary et al., 2001
Senepol x Holstein Normales, vacas	Missouri, EEUU	$21.0 \leq TA \leq 31.0$	Piel de la oreja	28.80-38.10	Al-Haidary et al., 2001
Senepol x Holstein Pelonas, vacas	Florida, EEUU	$21.0 \leq TA \leq 35.5$	Piel del lomo	38.03	Olson et al., 2002

Angus, toretes	Florida, EEUU	$21.0 \leq TA \leq 35.5$	Piel del lomo	37.49	Olson et al., 2002
Cruces tipo carne con Angus, novillas	Kentucky, EEUU	$29.9 \leq TA \leq 30.7$	Piel/pelo de la oreja	36.00-36.50	Davis et al., 2003b
Senepol Musculatura Doble, toros	Nebraska, EEUU	$-9.6 \leq TA \leq 34.2$	Piel/pelo de la oreja	10.60-34.00	Mader et al., 2006b
Senepol Musculatura Doble, toros	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica	Piel/pelo del escroto	30.94-36.36	Suero et al., 2016
Senepol Musculatura Sencilla, toros	Aguadilla, Puerto Rico	No especifica	Piel/pelo del escroto	31.19-36.27	Suero et al., 2016

<sup>a</sup>TA = temperatura del aire °C, ITH = índice de temperatura y humedad, TBH = temperatura del bulbo húmedo °C, TEA = temperatura efectiva del aire °C.

<sup>b</sup>(raza del padre) x (raza de la madre)

## 2.4 Efecto del Calentamiento Global Sobre la Agricultura Tropical

Durante las próximas décadas se espera un aumento en la demanda de productos de origen animal (Nardone et al., 2010). Al mismo tiempo, los cambios climáticos tendrán un gran impacto en la agricultura local y global (Nardone et al., 2010). Adicionalmente, según predicciones, un aumento en la población mundial y en la demanda de alimentos ocurrirán durante los próximos años (O'Brien et al., 2010). Esto podría tener como consecuencia migraciones en masa a regiones subtropicales y tropicales implicando una dependencia en la agricultura de estas regiones para subsistencia (O'Brien et al., 2010).

El calentamiento global presenta efectos directos e indirectos sobre el ganado de carne. Ejemplos de efectos indirectos lo son: la infertilidad de los suelos, escasez de agua, reducido rendimiento y calidad de granos y difusión de patógenos (Nardone et al., 2010). Los efectos directos están relacionados a la salud, reproducción, producción del ganado (Nardone et al., 2010). Enfermedades a causa de los cambios en temperatura, aumento en morbilidad y muerte son ejemplos de efectos directos hacia la salud de los animales (Nardone et al., 2010).

Estos cambios en temperatura ambiental combinados con la alta RS y humedad relativa (**HR**) normales en el trópico afectan grandemente al ganado, causándoles estrés por calor (West, 2003; Kumar et al., 2011). Cuando el ganado es expuesto a estos cambios climáticos, como modo de aclimatación ocurre una reducción en el consumo de materia seca acompañado de un aumento en la tasa de respiración y consumo de agua (West, 2003; Collier y Zimbelman, 2007). Además, las altas temperaturas ambientales tienen también efecto sobre la eficiencia reproductiva en todo el ganado, eventualmente afectando la producción de carne y los resultados mediante la selección animal (Nardone et al., 2010).

Según proyecciones del Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), los niveles de precipitación disminuirán en regiones subtropicales y tropicales. También, se proyecta un descenso de 10% en niveles de producción de cultivos para el 2055 debido a las altas sequías y temperaturas (Jones y Thornton, 2003).

Por estas razones se debe mejorar la selección animal balanceando cuidadosamente todas las características y rasgos genéticos necesarios para así obtener genotipos que sean capaces de lidiar con el cambio climático y sus efectos.

## **2.5 Disipación de Calor y Estrés Térmico en el Ganado**

En Puerto Rico, nuestras condiciones ambientales representan un considerable problema en cuanto a la termorregulación del ganado. Al vivir en una isla tropical con alta RS, también estamos expuestos a una alta temperatura y HR del aire (Kumar et al., 2011). Las vacas son animales homeotermos, lo que implica entre otras cosas, que para mantener una fisiología apropiada ellas requieren mantener su temperatura corporal dentro un rango de valores relativamente pequeño (Berman, 2011). Para lograr esto la vaca debe ser capaz de regular el balance entre su ganancia y su disipación de calor durante el día (Collier et al., 2006).

Para una vaca, sus fuentes de calor incluyen el calor interno o metabólico y el calor externo o ambiental (Collier et al., 2006). Naturalmente, estos animales buscan disipar el calor utilizando mecanismos como evaporación, convección, conducción y radiación (Collier et al., 2006). El ganado regula su temperatura corporal interna al balancear la cantidad de calor producido por su metabolismo y absorbido del medio ambiente con el flujo de calor del animal hacia el medio ambiente (Berman, 2011). Si este balance no se alcanza y se sobrepasa el rango de temperatura corporal saludable, la vaca entra en estrés por calor (Berman et al., 1985). El estrés por calor en

ganado de carne tiene un efecto menor sobre su desempeño productivo en comparación con el ganado lechero, debido a su menor tasa metabólica para producción de leche (St-Pierre et al., 2003).

El estrés por calor afecta el crecimiento, rendimiento de canal y terneza de la vaca. Mitloehner et al. (2001) observaron, en toretes expuestos a altas temperaturas y RS, una reducción en el consumo de materia seca y en la ganancia de peso por día, un aumento en la incidencia de enfermedades y un menor peso y cantidad de grasa en la canal. Por otro lado, se ha reportado un pH mayor, carne más oscura y menor fuerza Warner-Bratzler en muestras del *musculus longissimus thoracis* de ganado Omani tomadas durante la época caliente del año en comparación con aquellas tomadas en estaciones frescas (Kadim et al., 2004).

Asimismo, las altas temperaturas ambientales y la alta HR afectan la reproducción al disminuir la tasa de preñez en ganado de carne (Sprott et al., 2001). El estrés por calor puede afectar la expresión y duración del estro (Gwazdauskas, 1985), la tasa de preñez y salud ovárica (Lucy, 2002) y alterar el desarrollo folicular y embrionario (Jordan, 2003). Según West (2002), fallos en la ovulación e implantación y muerte embrionaria son otros de los efectos de las altas temperaturas en la reproducción de la vaca.

Según West (2003), el manejo de la nutrición de la vaca en climas calientes debe tomar en consideración la reformulación de dietas en consecuencia a un consumo de materia seca reducido, mayor requerimiento de nutrientes, incremento en el calor dietético y evitar exceso de nutrientes. También, se debe proveer agua limpia y fresca en todo momento. El desarrollo de estrategias nutricionales puede ayudar a minimizar los problemas metabólicos y fisiológicos producidos por el estrés por calor (West, 2003).

El estrés por calor representa grandes pérdidas económicas en las industrias de ganado de carne y leche. Una disminución en producción, reproducción y un aumento en mortalidad significa una pérdida anual de 369 millones de dólares en la industria de carne de los EEUU (St-Pierre et al., 2003). Se recomienda trabajar con tres estrategias de manejo para minimizar el estrés por calor: modificación física del ambiente (Buffington et al., 1983), desarrollo genético de razas tolerantes al calor (Finch, 1986) y mejoras en el manejo nutricional del hato (Beede y Collier, 1986). Para propósitos de la presente discusión nos limitaremos a evaluar el acercamiento en base a selección para genotipos mejor adaptados al calor.

## **2.6 Condiciones ambientales**

Las condiciones del medio ambiente (e.g. RS) influyen de gran manera la fisiología y el comportamiento de los animales (Campillo et al., 2012). Por ende, es menester escudriñar más a fondo el efecto que la RS, TA, HR, velocidad del viento (**VV**) y velocidad de ráfaga (**VR**) ejercen sobre la regulación termal en la vaca.

La RS afecta directa e indirectamente todo el medio ambiente (Campillo et al., 2012). Esta se define como “el conjunto de radiaciones magnéticas emitidas por el sol” y puede variar desde infrarroja o ultravioleta (Campillo et al., 2012). No toda la RS emitida llega a la superficie de la tierra, sino que parte es absorbida por la atmósfera, reflejada mediante las nubes y la propagada al espacio y a la superficie terrestre en donde después es irradiada (Geiger, 1950; Campillo et al., 2012). Una vez la RS es absorbida por la superficie de la tierra, esta es transformada en calor, aumentando la temperatura de la misma (Geiger, 1950). La superficie terrestre a su vez disipará el calor al medio ambiente mediante radiación, conducción, convección y evaporación (Geiger, 1950). Estos métodos pueden combinarse para absorber o transferir calor lo más eficientemente

posible (Norris et al., 2012). Por ende, la RS juega un papel muy importante no tan solo en la TA al calentarlo, sino en la temperatura corporal del animal (Norris et al., 2012).

La radiación electromagnética proveniente del sol transmite calor en forma de radiación infrarroja a la atmósfera y a la superficie de la tierra (Geiger, 1950). La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética la cual es emitida por objetos con una temperatura superficial de  $-20^{\circ}$  a  $40^{\circ}\text{C}$  (Norris et al., 2012). La cantidad de radiación infrarroja emitida depende de la emisividad y la absorptividad del animal u objeto (Norris et al., 2012).

Conducción es definido como la transferencia de calor entre dos objetos que estén en contacto directo y estáticos el uno con respecto del otro (Norris et al., 2012). Bajo este concepto la energía en forma de calor es conducida de un objeto a otro a favor de un gradiente termal (Norris et al., 2012). La velocidad de transmisión de calor dependerá de las propiedades físicas de los objetos, distancia y el área que esté en contacto físicamente (Norris et al., 2012).

Por otro lado, la convección es la transferencia de calor por medio del movimiento de fluidos en contacto (Norris et al., 2012). El agua y el viento son ambos métodos eficientes de convección en periodos de alta RS y TA (Norris et al., 2012).

Por último, la evaporación utiliza energía en forma de calor (proveniente del cuerpo del animal) para pasar agua del estado líquido al estado gaseoso, permitiendo a los organismos transferir calor aun cuando el gradiente entre la superficie animal y la TA no sea favorable (Norris et al., 2012).

El calor disipado por la superficie terrestre mediante los métodos mencionados anteriormente calienta el aire, haciéndolo menos denso (Gipe, 2004). Este sube en la atmósfera siendo sustituido por aire fresco proveniente de capas más altas en la misma y creando corrientes

de aire o viento (Gipe, 2004). Además, esto crea ráfagas, un aumento de breve duración en la VV (Weather.gov, 2015). El viento ayuda a minimizar los efectos del estrés por calor al maximizar los procesos de disipación de calor mediante la evaporación y convección (Mader et al., 1999b). La respuesta por parte del animal dependerá del estado en que esté la piel, seca o húmeda, siendo la última más efectiva (Arkin et al., 1991).

La HR realza el efecto negativo de las altas temperaturas ambientales sobre la regulación de la temperatura corporal en el ganado (West, 2003). Esta se define como la máxima proporción de presión de vapor de agua en el aire posible, que prevalece a una temperatura ambiental dada (Geiger, 1950). La disipación de calor a través del método de evaporación se ve afectada cuando la HR aumenta, pues se dificulta evaporar agua en el sudor cuando ya el aire está saturado de vapor (Kerslake, 1972; Speakman, 2004). El calor terrestre disipado por la evaporación aumenta la cantidad total de vapor de agua en el aire, pero como el aire caliente es menos denso, la HR se reduce (Geiger, 1950). Por ende, existe una correlación negativa entre la TA y la HR (Geiger, 1950). Estas dos condiciones ambientales se utilizan para calcular el Índice de Temperatura-Humedad (**ITH**).

El ITH, originalmente llamado “Discomfort Index”, fue en un principio desarrollado para ser utilizado en humanos (Thom, 1959). Eventualmente, se empezó a emplear en ganado (Collier et al., 2011). Este incorpora los efectos de la TA y HR para cuantificar el grado de estrés por calor en ganado (Amundson et al., 2006; Mader, 2003; Berman, 2005). Vitali et al. (2009), investigaron variaciones en mortalidad según la estación del año y la relación de esta con el ITH en ganado lechero. Estos determinaron que el verano fue la estación con mayor riesgo de mortalidad, con valores de ITH entre 70 y 80. Además, sugirieron los valores de 87 y 77 como valores críticos máximos y mínimos de ITH, respectivamente, en donde el ganado corre riesgo de muerte.

Mediante la ecuación del ITH utilizada por Vitali et al. (2009) se genera una relación matemática directamente proporcional entre esta variable y la TA. Es decir, a medida que la TA aumente, el ITH también aumentará. Por otro lado, como mencionado anteriormente, la TA exhibe una correlación negativa con la HR en términos de efecto ambiental. Estas correlaciones resultan en una asociación negativa entre la HR y el ITH.

## 3 METODOLOGÍA

### 3.1 Animales

La presente investigación se llevó a cabo del 12 al 16 de abril de 2015 en la Estación Experimental Finca Montaña de la Universidad de Puerto Rico localizada en el municipio de Aguadilla (18°28'13"N, 67°7'2"O). Se utilizaron diecinueve vacas de la raza Senepol, incluyendo un grupo heterocigoto para el gen de miostatina (MD) (n=8) y uno de animales de MS (n=11). Estas fueron alojadas en un cercado con acceso *ad libitum* a gramíneas tropicales y agua.

### 3.2 Temperatura Vaginal

Veinticuatro h antes de comenzar el estudio las vacas fueron restringidas en un cepo comercial en donde se les implantó un dispositivo intravaginal, el cual consistía de un termómetro a prueba de agua (TidbiT v2 Water Temperature Data Logger; Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU) pegado a un dispositivo para liberar drogas internas (CIDR; Pfizer Irlanda, Dublin, Irlanda) sin progesterona. Antes de la implantación de los termómetros se lavó el área genital y el área alrededor con jabón quirúrgico (Stone, Stone Mfg & Supply, KC, MO, EEUU) y agua. Se enjuagó con una solución de clorhexidina (Nolvasan, Fort Dodge Animal Health, Fort Dodge, IA) y se secó con una toalla limpia y seca. El día antes, los CIDR fueron lavados con agua y jabón para luego colocarse en un ciclo de autoclave antes de unirse a los termómetros vaginales pre-programados. Los termómetros vaginales fueron programados para medir y grabar la TVAG cada cinco minutos durante la duración del estudio (5 días). Una vez ensamblado, los dispositivos (CIDR y termómetro vaginal), fueron lavados con agua y jabón, enjuagados con la solución de clorhexidina, secados y cubiertos con un lubricante obstétrico estéril (K-Y Jelly, Reckitt Benckshire Group, Slough, Berkshire, Reino Unido). Utilizando una pistola para aplicar CIDR se insertaron

los dispositivos intravaginalmente 24 horas antes de empezar el estudio para minimizar cualquier efecto sobre los datos proveniente de la restricción física de los animales.

### **3.3 Condiciones Ambientales**

Se utilizaron cuatro registradores de datos ambientales (HOBO Pro V2 temp/RH Data Logger; Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU), los cuales fueron programados para tomar valores de HR y TA cada cinco minutos, en sincronía con los termómetros vaginales. Dos de estos se instalaron en el cercado expuestos directamente al sol y los otros dos se instalaron en un área continua del cercado, pero protegida por sombra artificial sin paredes. Además, se utilizaron dos piranómetros (Silicon Pyranometer Smart Sensor S-LIB-M003, Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU; Figura 1) para medir la RS. Éstos fueron colocados en el cercado, anclados a estructuras de madera para soporte a una altura de aproximadamente 3 metros sobre el suelo. Por último, se utilizaron dos anemómetros (Wind Speed Smart Sensor, S-WSA-M003 Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU; Figura 2) para medir la VV y de las ráfagas del mismo. Estos también fueron colocados en el cercado pegados a estructuras de madera para soporte a una altura similar. Tanto los piranómetros, como los anemómetros recolectaron datos cada 5 minutos, en sincronía con los sensores vaginales y ambientales previamente descritos.

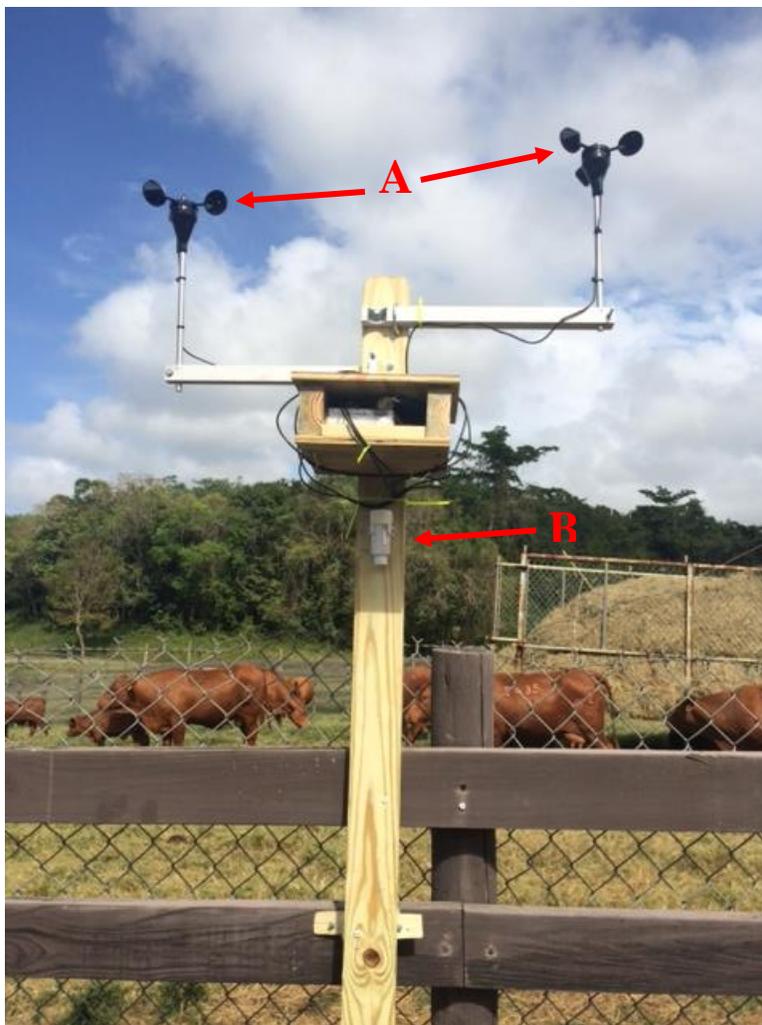
El índice de temperatura y humedad (ITH) fue calculado mediante la fórmula:

$$ITH = (1.8 \times TA + 32) - (0.55 - 0.55 \times HR) \times [(1.8 \times TA + 32) - 58];$$

en donde TA es temperatura del aire (°C) y HR es humedad relativa expresada como decimal (Vitali et al., 2009).



**Figura 1. Piranómetros (n=2) utilizados en la presente investigación (Silicon Pyranometer Smart Sensor S-LIB-M003, Onset Computer Corporation; Bourne, MA, Estados Unidos).**



**Figura 2. (A) Anemómetros (n=2; Wind Speed Smart Sensor, S-WSA-M003 Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU), (B) registrador de temperatura y humedad relativa del aire (n=4; HOBO Pro V2 temp/RH Data Logger; Onset Computer Corporation; Bourne, MA, EEUU).**

### **3.4 Análisis Estadístico**

La limpieza y organización de los datos fue llevada a cabo utilizando el programa Microsoft Excel. Los datos crudos (cada 5 minutos) para las variables medidas fueron graficados para detectar y eliminar cualquier anomalía. Luego se realizaron los análisis estadísticos utilizando el programa SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC, EEUU). Para esto se determinaron promedios por h del

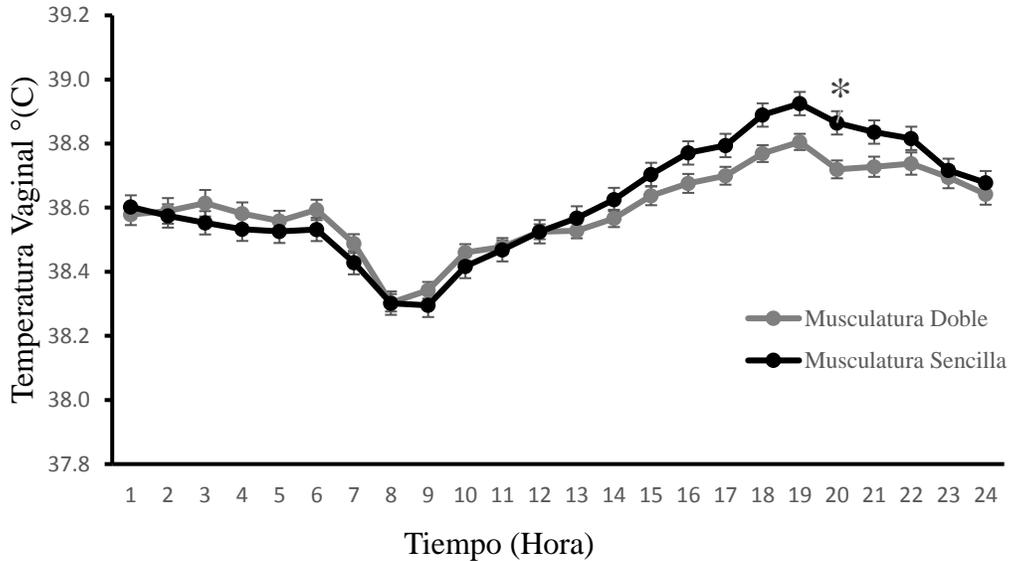
día para todas las variables. El comportamiento de las variables ambientales y de la TVAG, promediadas por h, fue analizado mediante el procedimiento GLIMMIX (SAS). Como variables dependientes de sus respectivos modelos se incluyeron la TVAG, así como cada una de las condiciones ambientales evaluadas [ITH (bajo sol y bajo sombra), RS, VV, VR, TA (bajo sol y bajo sombra) y HR (bajo sol y bajo sombra)]. Como efectos fijos para la TVAG se incluyeron el tipo de musculatura (MS o MD) y la h del día (1-24), mientras que como efecto aleatorio se utilizó la identificación del animal. Adicionalmente, para cada una de las condiciones ambientales evaluadas la h del día se utilizó como efecto fijo y el instrumento utilizado para la medida de estas como efecto aleatorio. La prueba de LSD (SAS) fue utilizada para determinar las diferencias entre medias. Se realizó un análisis de regresión lineal utilizando Microsoft Excel para determinar el comportamiento de la TVAG con respecto a la TA e ITH. Para determinar el grado (lineal, cuadrático, cúbico, etc.) que describía mejor la relación entre la TVAG con la TA e ITH se utilizó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de mayor magnitud. Se escogió el grado a partir del cual no se observaron aumentos considerables en el  $R^2$ . El procedimiento CORR (SAS) se empleó para determinar la relación entre las variables ambientales y entre estas y la TVAG. Estas últimas correlaciones fueron evaluadas en tiempo real y en tiempo retrasado, es decir, teniendo en cuenta el impacto sobre la TVAG por parte de las condiciones ambientales ocurridas anteriormente en intervalos de una h, hasta 24 h. Diferencias significativas fueron detectadas a un  $\alpha$  de 0.05, mientras que valores P entre 0.06 – 0.10 fueron considerados una tendencia a diferir. De no ser indicado, los datos se presentan como medias  $\pm$  del error estándar de la media.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Temperatura Vaginal

La figura 3 presenta los valores promedios de TVAG observados en las vacas de MS y sus contemporáneas de MD durante las 24 h del día. Se observó una interacción ( $P < 0.0001$ ) entre el genotipo y la h del día afectando la TVAG. En las vacas de MS la TVAG se mantuvo constante de 0100 a 0600 h ( $38.55 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$ ;  $P > 0.05$ ), se redujo en los valores contenidos a las 0700 h ( $P = 0.0004$ ), para mostrar su pico mínimo diario entre las 0800 y 0900 h ( $38.30 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P > 0.05$ ). Además, estas vacas de MS presentaron un aumento constante de TVAG desde las 1000 hasta las 1700 h ( $38.42 \pm 0.03 - 38.7 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$   $P < 0.005$ ), se mantuvieron en su pico máximo entre las 1800 y 2100 h ( $38.88 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P > 0.05$ ), para luego presentar una reducción entre las 2200 y 2400 h ( $38.82 \pm 0.03 - 38.66 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$ ). En el caso de las vacas de MD, también se observaron valores de TVAG constantes en el periodo de 0100 a 0600 h ( $38.59 \pm 0.04^{\circ}\text{C}$ ;  $P < 0.01$ ), una reducción significativa en los valores contenidos en las 0700 h, hasta alcanzar su pico mínimo diario entre las 0800 y 0900 h ( $38.32 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ). También, estas vacas de MD presentaron un aumento constante en TVAG entre las 1000 y las 1700 h ( $38.46 \pm 0.03 - 38.70 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P < 0.05$ ), hasta alcanzar su pico máximo diario de 1800 a 2200 h ( $38.75 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P > 0.05$ ) y mostrar una reducción entre las 2300 y 2400 h ( $38.70 \pm 0.03 - 38.64 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0.09$ ). Las vacas de MS presentaron mayores valores de TVAG promedio ( $P = 0.0262$ ) que sus contemporáneas de MD a las 2000 h ( $38.86 \pm 0.03$  vs.  $38.72 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ). Similarmente, las vacas de MS mostraron una tendencia a presentar mayores valores promedios de TVAG a las 1800 h ( $38.89 \pm 0.03$  vs.  $38.77 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0.0612$ ), 1900 h ( $38.92 \pm 0.03$  vs.  $38.80 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0.0637$ ) y 2100 h ( $38.84 \pm 0.04$  vs.  $38.73 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0.0920$ ). Sin embargo, en el periodo de 2200 a 1700 h no se observaron diferencias

( $P > 0.05$ ) en TVAG promedio entre las vacas de MS y aquellas con MD ( $38.57 \pm 0.03$  y  $38.56 \pm 0.03^\circ\text{C}$ , respectivamente).



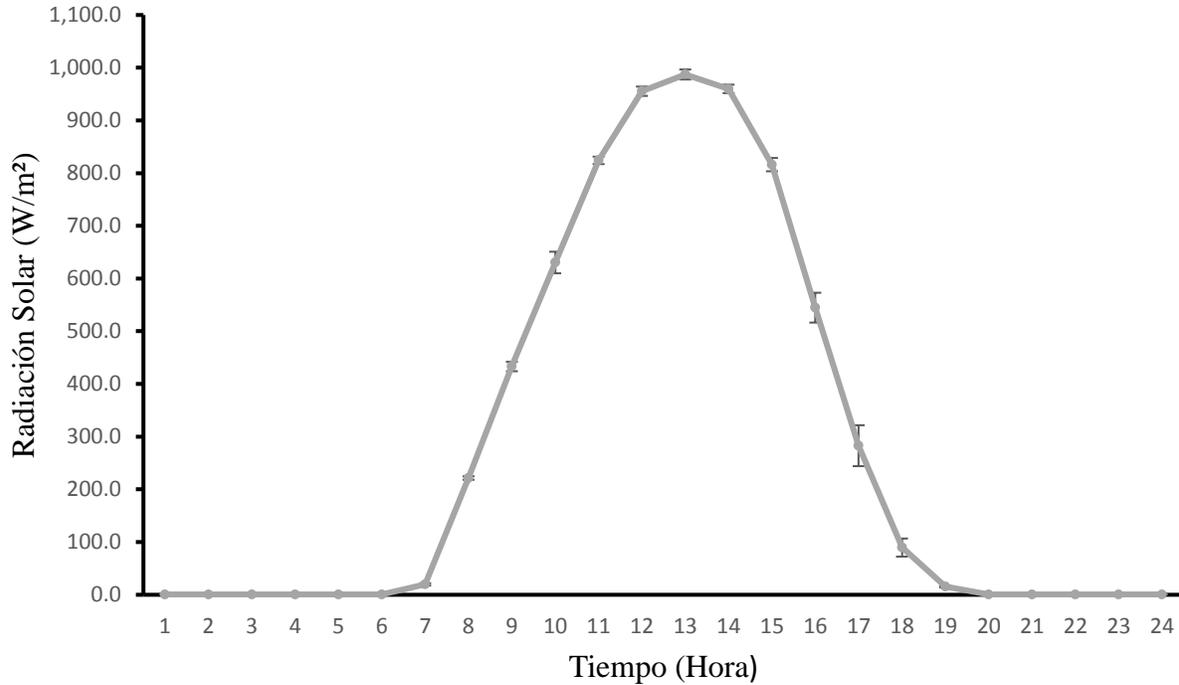
**Figura 3. Valores promedios de temperatura vaginal ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Genotipo x tiempo ( $P < 0.0001$ ). El asterisco indica diferencias ( $P = 0.0262$ ) entre genotipos (musculatura doble: heterocigota para la mutación en gen de miostatina; musculatura sencilla: no mutación en gen de miostatina) en tiempos específicos.**

## 4.2 Condiciones Ambientales

### 4.2.1 Radiación Solar

La figura 4 presenta el patrón de RS diario observado durante el presente estudio. Se observaron diferencias en los valores promedios de esta variable asociadas con el tiempo ( $P < 0.0001$ ). La RS se mantuvo constante en sus valores mínimos promedios diarios desde las 1900 hasta las 0700 h ( $3.21 \pm 0.30 \text{ W/m}^2$ ). Luego se observó un aumento constante en RS de  $602.67 \text{ W/m}^2$  desde las 0800 hasta las 1100 h. Además, se observó su pico máximo promedio diario entre

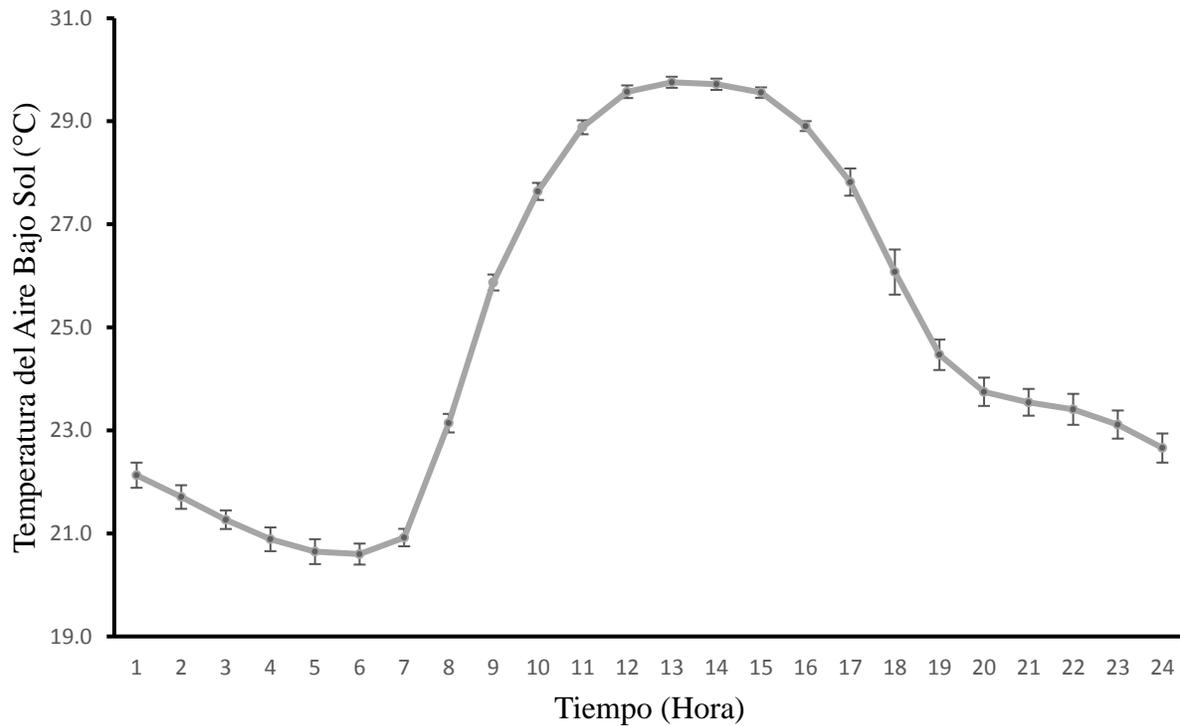
las 1200 y 1400 h ( $967.48 \pm 8.76 \text{ W/m}^2$ ), para luego presentar una reducción entre las 1500 y 1800 h de  $726.60 \text{ W/m}^2$ .



**Figura 4. Valores promedios de radiación solar ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

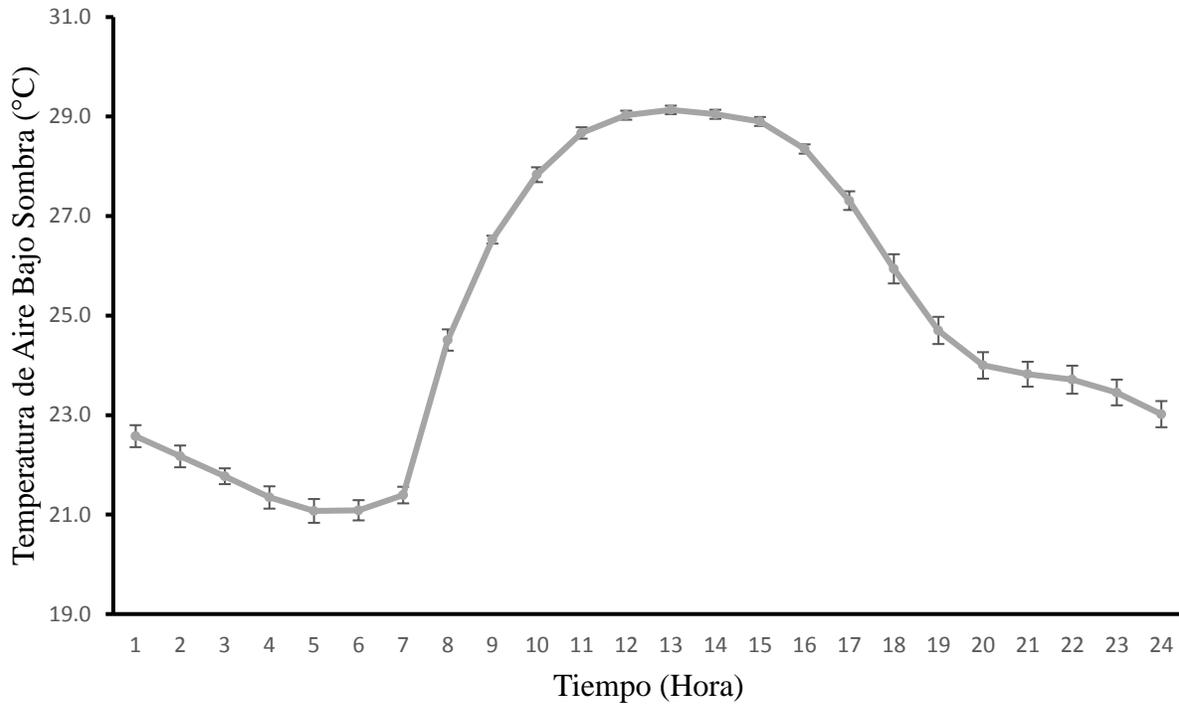
#### 4.2.2 Temperatura del Aire Bajo Sol y Bajo Sombra

La figura 5 presenta el patrón diario de TA medida bajo exposición solar durante el presente experimento. Se observaron diferencias en los valores de TA bajo sol asociadas con el tiempo ( $P < 0.0001$ ). Esta variable se mantuvo constante en sus valores mínimos desde las 2000 hasta las 0700 h (promediando  $22.05 \pm 0.24^\circ\text{C}$ ), seguido por un aumento constante de  $5.74^\circ\text{C}$  desde las 0800 hasta las 1100 h. Luego, esta presentó un pico máximo promedio diario entre las 1200 y 1500 h ( $29.65 \pm 0.11^\circ\text{C}$ ), para subsecuentemente presentar una reducción de  $4.44^\circ\text{C}$  entre las 1600 y 1900 h.



**Figura 5. Valores promedios de temperatura del aire bajo sol ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

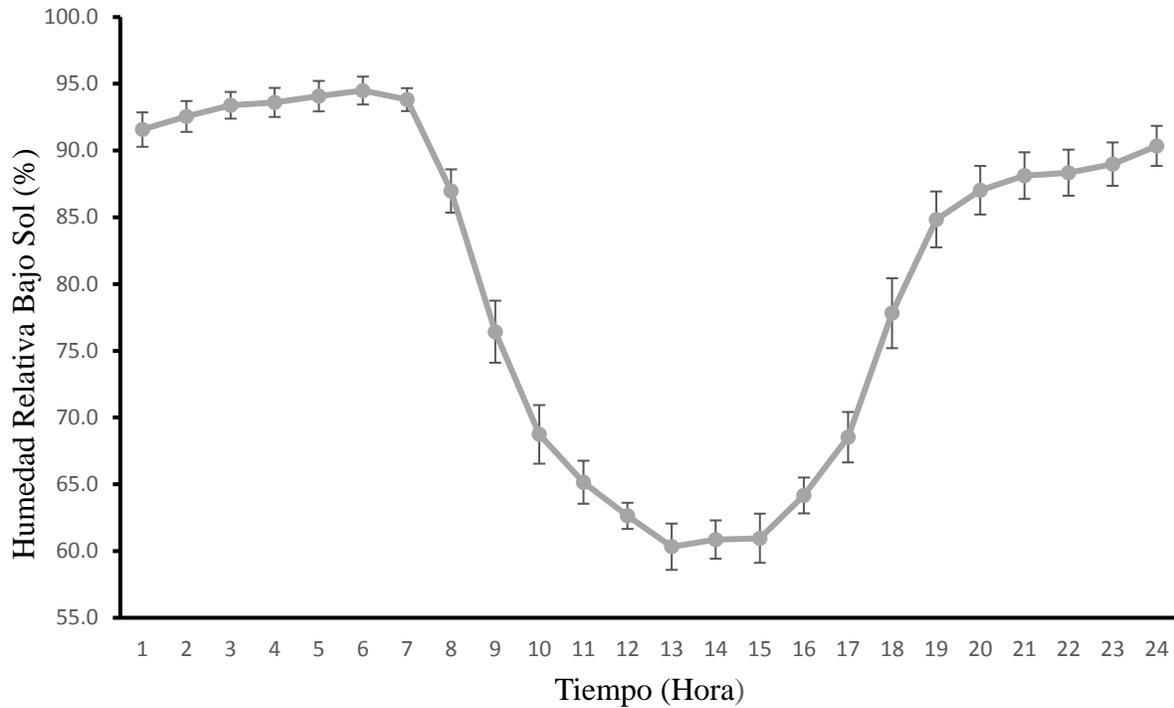
La figura 6 presenta el patrón diario de TA medida bajo sombra durante el estudio. También se observaron diferencias en esta variable asociadas con el tiempo ( $P < 0.0001$ ). La TA bajo sombra se mantuvo constante en sus valores mínimos desde las 2000 hasta las 0700 h ( $22.45 \pm 0.23^\circ\text{C}$ ), seguido por un aumento constante de  $3.32^\circ\text{C}$  desde las 0800 hasta las 1000 h. También, se observó un pico máximo promedio diario en la TA bajo sombra entre las 1100 y 1600 h ( $28.85 \pm 0.09^\circ\text{C}$ ), para luego presentar una reducción de  $2.61^\circ\text{C}$  entre las 1700 y 1900 h.



**Figura 6. Valores promedios de temperatura del aire bajo sombra ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

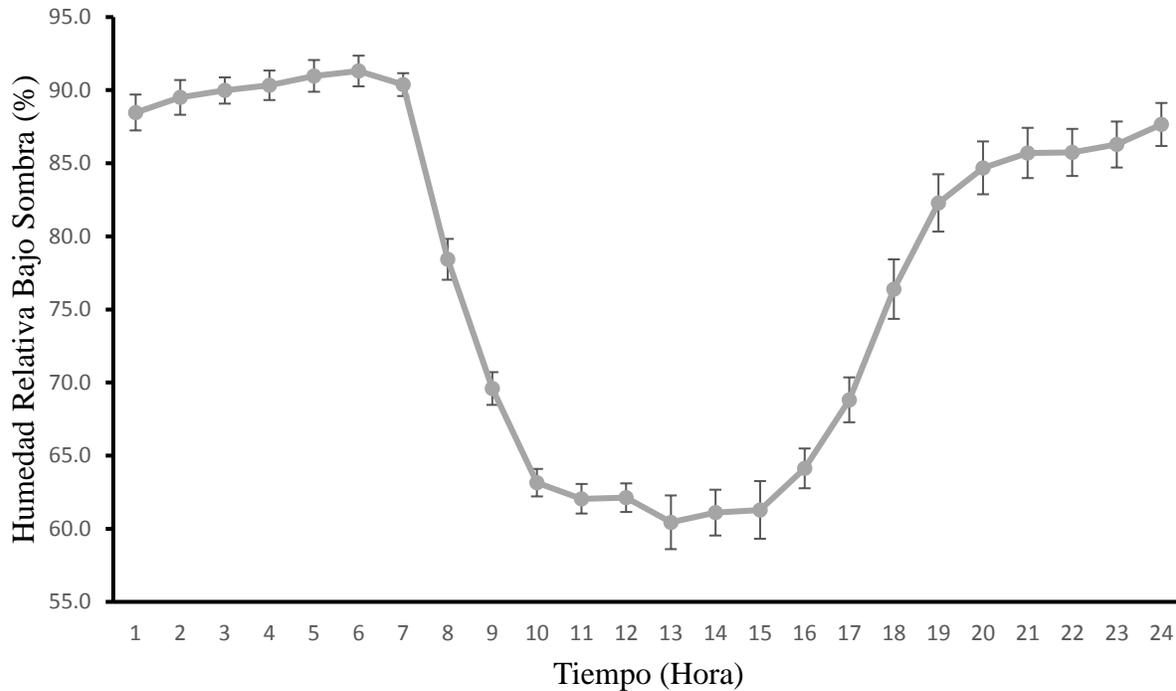
#### 4.2.3 Humedad Relativa Bajo Sol y Bajo Sombra

A continuación, la figura 7 presenta el patrón de HR diario bajo sol observado durante el experimento. La HR presentó un comportamiento inverso en comparación con las demás condiciones evaluadas. Se observaron diferencias en los valores de humedad relativa bajo sol asociados con el tiempo ( $P < 0.0001$ ). Esta variable se mantuvo constante en sus valores máximos desde las 1900 hasta las 0700 h ( $90.86 \pm 1.39 \%$ ), seguido por una reducción constante de 10.54% desde las 0800 hasta las 0900 h. Además, se observó un pico mínimo promedio diario en humedad relativa entre las 1000 y 1600 h ( $63.26 \pm 1.59 \%$ ), para luego presentar un aumento de 9.29% entre las 1700 y 1800h.



**Figura 7. Valores promedios de humedad relativa bajo sol ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

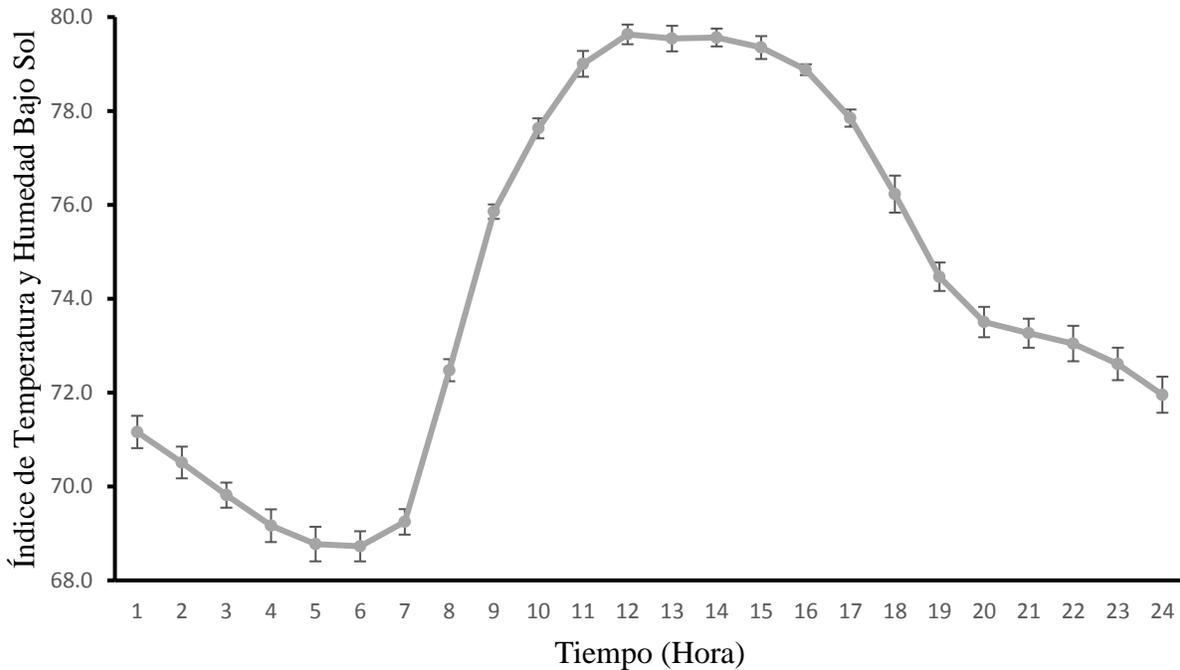
La figura 8 presenta el patrón de HR diario bajo sombra observado durante la investigación. Se observaron diferencias en los valores de HR bajo sombra asociados con el tiempo ( $P < 0.0001$ ). Esta variable se mantuvo constante en sus valores máximos desde las 1900 hasta las 0700 h ( $87.95 \pm 1.34 \%$ ), seguido por una reducción constante de  $8.84\%$  desde las 0800 hasta las 0900 h. Además, se observó un pico mínimo promedio diario en la HR bajo sombra entre las 1000 y 1600 h ( $62.04 \pm 1.38 \%$ ), para luego presentar un aumento de  $7.57\%$  entre las 1700 y 1800h.



**Figura 8. Valores promedios de humedad relativa bajo sombra ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

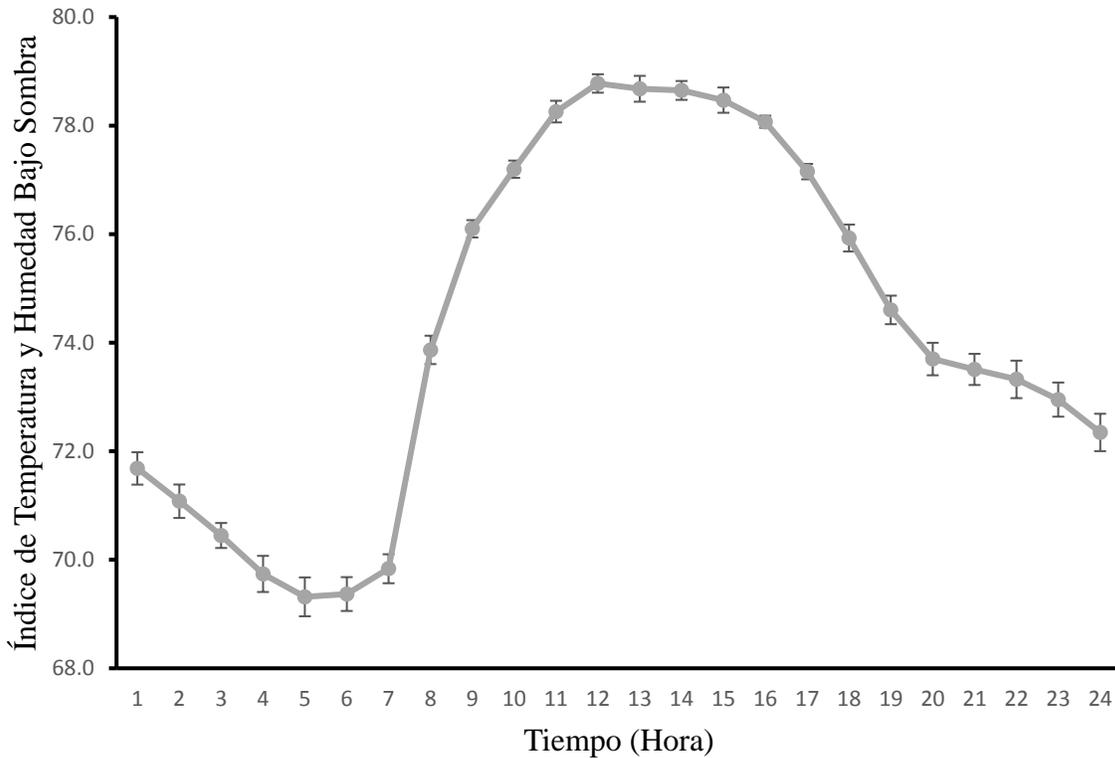
#### 4.2.4 Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol y Bajo Sombra

La figura 9 presenta el patrón del ITH medido bajo exposición solar durante el presente experimento. Se observaron diferencias en esta variable asociados con el tiempo ( $P < 0.0001$ ). El ITH bajo sol se mantuvo constante en sus valores mínimos desde las 2000 hasta las 0700 h ( $70.99 \pm 0.33$ ), seguido por un aumento constante de 5.15 unidades desde las 0800 hasta las 1000 h. Luego, este presentó su pico máximo promedio diario entre las 1100 y 1600 h ( $79.33 \pm 0.22$ ), para más tarde presentar una reducción de 3.38 unidades entre las 1700 y 1900 h.



**Figura 9. Valores promedios del índice de temperatura y humedad bajo sol ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

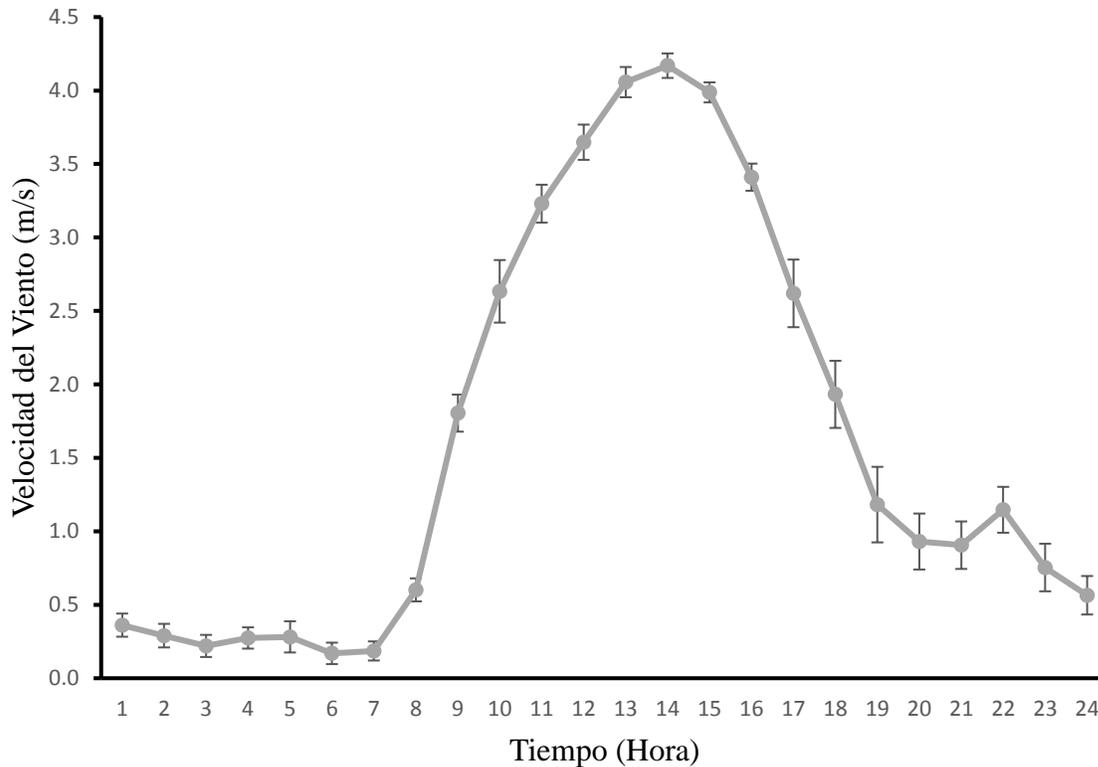
La figura 10 presenta el patrón diario observado en los valores del ITH determinado bajo condiciones de sombra. También se observó un efecto de tiempo ( $P < 0.0001$ ) sobre los valores de esta variable. El ITH bajo sombra se mantuvo constante en sus valores mínimos promedios diarios desde las 2000 hasta las 0700 h ( $71.44 \pm 0.31$ ), seguido por un aumento constante de 3.33 unidades desde las 0800 hasta las 1000 h. Adicionalmente, se observó un pico máximo promedio diario en esta variable entre las 1100 y 1600 h ( $78.48 \pm 0.19$ ), para luego presentar una reducción de 2.55 unidades entre las 1700 y 1900 h.



**Figura 10. Valores promedios del índice de temperatura y humedad bajo sombra ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

#### 4.2.5 Velocidad del Viento

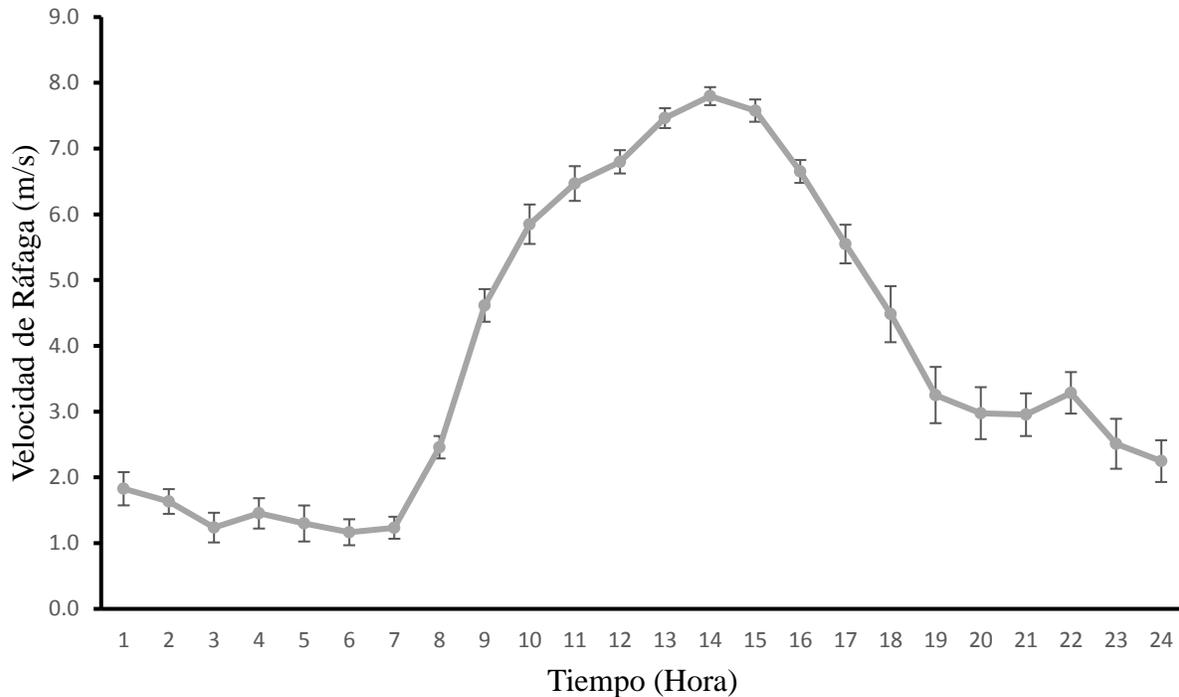
La figura 11 presenta el comportamiento promedio de VV observado durante el día en la presente investigación, los cuales fueron afectados por el tiempo ( $P < 0.0001$ ). Esta variable se mantuvo constante en sus valores mínimos promedios diarios desde las 2300 hasta las 0700 h ( $0.34 \pm 0.09$  m/s). Además, se observó un aumento constante en VV de 3.05 m/s desde las 0800 hasta las 1200 h. También, se observó un pico máximo promedio diario entre las 1300 y 1500 h ( $4.07 \pm 0.08$  m/s). Finalmente se observó, en general, una reducción continua en la VV de 2.26 m/s entre las 1600 y 2200 h.



**Figura 11. Valores promedios de la velocidad del viento ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

#### 4.2.6 Velocidad de Ráfaga

La figura 12 presenta el patrón promedio diario en VR observado durante el experimento, los cuales fueron afectados por el tiempo ( $P < 0.0001$ ). Esta variable se mantuvo constante en sus valores mínimos promedios diarios desde las 2400 hasta las 0700 h ( $1.51 \pm 0.23$  m/s). Además, se observó un aumento constante en VR de  $4.34$  m/s desde las 0800 hasta las 1200 h. También, se observó un pico máximo en VR promedio diaria entre las 1300 y 1500 h ( $7.61 \pm 0.15$  m/s). Finalmente, en general, esta variable disminuyó continuamente unos  $4.14$  m/s entre las 1600 y 2300 h.



**Figura 12. Valores promedios de la velocidad de ráfaga ( $\pm$  error estándar de la media) durante las 24 horas del día. Tiempo ( $P < 0.0001$ ).**

#### 4.2.7 Relación entre las Condiciones Ambientales

Debido a que la mayoría de los coeficientes de correlación en tiempo real entre la TVAG y las condiciones ambientales fueron de baja magnitud (Tablas 3-11) se evaluó la relación entre las distintas condiciones ambientales para intentar comprender mejor los resultados (Tabla 2). Las mismas resultaron estar altamente asociadas entre sí, presentando coeficientes de correlación entre 0.80 – 0.99 ( $P < 0.0001$ ).

**Tabla 2. Coeficientes de correlación entre las diferentes condiciones ambientales medidas en tiempo real.**

	<b>TA BAJO SOL</b>	<b>TA BAJO SOMBRA</b>	<b>HR BAJO SOL</b>	<b>HR BAJO SOMBRA</b>	<b>ITH BAJO SOL</b>	<b>ITH BAJO SOMBRA</b>	<b>RS</b>	<b>VV</b>	<b>VR</b>
<b>TA BAJO SOL</b>		0.99 <0.0001 65,702	-0.95 <0.0001 65,702	-0.94 <0.0001 65,702	0.99 <0.0001 65,702	0.97 <0.0001 65,702	0.87 <0.0001 65,702	0.92 <0.0001 65,702	0.91 <0.0001 65,702
<b>TA BAJO SOMBRA</b>			-0.94 <0.0001 65,702	-0.95 <0.0001 65,702	0.98 <0.0001 65,702	0.99 <0.0001 65,702	0.86 <0.0001 65,702	0.90 <0.0001 65,702	0.90 <0.0001 65,702
<b>HR BAJO SOL</b>				0.98 <0.0001 65,702	-0.90 <0.0001 65,702	-0.89 <0.0001 65,702	-0.85 <0.0001 65,702	-0.91 <0.0001 65,702	-0.90 <0.0001 65,702
<b>HR BAJO SOMBRA</b>					-0.90 <0.0001 65,702	-0.89 <0.0001 65,702	-0.86 <0.0001 65,702	-0.88 <0.0001 65,702	-0.88 <0.0001 65,702
<b>ITH BAJO SOL</b>						0.99 <0.0001 65,702	0.82 <0.0001 65,702	0.88 <0.0001 65,702	0.89 <0.0001 65,702
<b>ITH BAJO SOMBRA</b>							0.80 <0.0001 65,702	0.86 <0.0001 65,702	0.88 <0.0001 65,702
<b>RS</b>								0.85 <0.0001 65,702	0.81 <0.0001 65,702
<b>VV</b>									0.96 <0.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. TA bajo sol = temperatura del aire medida bajo exposición directa a la radiación solar; TA bajo sombra = temperatura del aire medida bajo sombra artificial; HR bajo sol = humedad relativa medida bajo exposición directa a la radiación solar; HR bajo sombra = humedad relativa medida bajo sombra artificial; ITH bajo sol = índice de temperatura y humedad medido bajo exposición directa a la radiación solar; ITH bajo sombra = índice de temperatura y humedad medido bajo sombra artificial; RS = radiación solar; VV = velocidad del viento; VR = velocidad de ráfaga.

### **4.3 Correlaciones entre la Temperatura Vaginal y las Condiciones Ambientales**

Las siguientes tablas (3-11) presentan la relación entre la TVAG y las condiciones ambientales, mostrando, en general, bajos coeficientes de correlación. La condición ambiental que presentó una mayor correlación y, por ende, una mayor influencia sobre la TVAG en tiempo real tanto para las vacas de MS como para las de MD fue la RS [ $r=-0.17$  ( $P<0.0001$ ) y  $r=-0.18$  ( $P<0.0001$ ), respectivamente]. En animales de MS, seguido de la RS y en orden descendente se encontraron: la HR bajo sombra, el ITH bajo sol, la VR, la VV, el ITH bajo sombra, la TA bajo sol, HR bajo sol y la TA bajo sombra. Por otro lado, en animales de MD, seguido de la RS y también en orden descendente en los coeficientes de correlación con la TVAG se encontraron: la TA bajo sombra, la HR bajo sombra, el ITH bajo sombra, el ITH bajo sol, la TA bajo sol, la VV, la VR y la HR bajo sol.

#### **4.3.1 Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Radiación Solar**

La tabla 3 muestra los coeficientes de correlación observados entre la TVAG y la RS en tiempo real y en periodos de retraso de una h durante un periodo de 23 h. En general, la RS mostró una mayor asociación con la TVAG en las vacas con MS que en sus contemporáneas de MD. En las vacas MS y en las MD las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y la RS ocurrieron al tener en cuenta 7 h de retraso [ $r=0.54$  ( $P<0.0001$ ) y  $r=0.37$  ( $P<0.0001$ ), respectivamente], mientras que la mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 20 h de retraso [ $r=-0.53$  ( $P<0.0001$ ) y  $r=-0.391$  ( $P<0.0001$ ), respectivamente]. En ambos grupos los coeficientes de correlación entre la TVAG y RS descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos desde 8 hasta 19 h de retraso. Además, desde 21 hasta 6 h de retraso se observó un

aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos en ambos genotipos.

**Tabla 3. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la radiación solar en tiempo real y de retraso en vacas Senepol de musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Radiación Solar								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	-0.17 <.0001 22,496	-0.18 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	0.49 <.0001 22,400	0.35 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	-0.27 <.0001 22,304	-0.11 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	-0.01 0.0858 22,484	-0.06 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	0.42 <.0001 22,388	0.31 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	-0.38 <.0001 22,292	-0.21 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	0.14 <.0001 22,472	0.04 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	0.33 <.0001 22,376	0.26 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	-0.46 <.0001 22,280	-0.29 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	0.28 <.0001 22,460	0.15 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	0.22 <.0001 22,364	0.21 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	-0.51 <.0001 22,268	-0.35 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	0.40 <.0001 22,448	0.24 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	0.11 <.0001 22,352	0.15 <.0001 32,562	<b>20 h de retraso</b>	-0.53 <.0001 22,256	-0.391 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	0.48 <.0001 22,436	0.31 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	0.02 0.0093 22,340	0.11 <.0001 32,562	<b>21 h de retraso</b>	-0.50 <.0001 22,244	-0.390 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	0.53 <.0001 22,424	0.35 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	-0.08 <.0001 22,328	0.05 <.0001 32,562	<b>22 h de retraso</b>	-0.43 <.0001 22,232	-0.36 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	0.54 <.0001 22,412	0.37 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	-0.17 <.0001 22,316	-0.02 0.0045 32,562	<b>23 h de retraso</b>	-0.33 <.0001 22,220	-0.29 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

### **4.3.2 Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sol**

La tabla 4 muestra las correlaciones observadas entre la TVAG y la TA medida bajo exposición directa al sol en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, la TA bajo sol mostró una mayor asociación con la TVAG en animales con MS que en sus contemporáneas de MD. Las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y la TA bajo sol ocurrieron al tener en cuenta 5 ( $r=0.601$ ;  $P<0.0001$ ) y 6 ( $r=0.43$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en animales de MS y de MD, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 18 ( $r=-0.47$ ;  $P<0.0001$ ) y 19 ( $r=-0.3206$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en las vacas de MS y de MD, respectivamente. En las vacas de MS desde 6 hasta 17 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y TA bajo sol descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, desde 19 hasta 4 h de retraso se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos. En el grupo de MD, desde 7 hasta 18 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y TA medida bajo sol descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En estas vacas, también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde de 20 hasta 5 h de retraso

**Tabla 4. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sol en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Temperatura del Aire Bajo Sol								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	0.03 <.0001 22,496	-0.04 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	0.46 <.0001 22,400	0.36 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	-0.43 <.0001 22,304	-0.25 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	0.21 <.0001 22,484	0.10 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	0.35 <.0001 22,388	0.29 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	-0.47 <.0001 22,292	-0.28738 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	0.36 <.0001 22,472	0.21 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	0.22 <.0001 22,376	0.22 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	-0.47 <.0001 22,280	-0.31 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	0.47 <.0001 22,460	0.30 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	0.09 <.0001 22,364	0.13 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	-0.46 <.0001 22,268	-0.3206 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	0.56 <.0001 22,448	0.37 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	-0.04 <.0001 22,352	0.05 <.0001 32,562	<b>20 h de retraso</b>	-0.41 <.0001 22,256	-0.3200 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	0.601 <.0001 22,436	0.42 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	-0.16 <.0001 22,340	-0.02 0.0017 32,562	<b>21 h de retraso</b>	-0.34 <.0001 22,244	-0.29 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	0.600 <.0001 22,424	0.43 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	-0.27 <.0001 22,328	-0.10 <.0001 32,562	<b>22 h de retraso</b>	-0.25 <.0001 22,232	-0.24 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	0.55 <.0001 22,412	0.41 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	-0.37 <.0001 22,316	-0.19 <.0001 32,562	<b>23 h de retraso</b>	-0.11 <.0001 22,220	-0.15 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

### **4.3.3 Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sombra**

La tabla 5 muestra las asociaciones observadas entre la TVAG y la TA bajo sombra en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, la TA bajo sombra mostró una mayor asociación con la TVAG en animales de MS que en sus contemporáneas de MD. Las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y la TA en sombra ocurrieron al tener en cuenta 6 h de retraso tanto en las vacas de MS ( $r=0.59$ ;  $P<0.0001$ ), como en las de MD ( $r=0.42$ ;  $P<0.0001$ ). La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 18 ( $r=-0.47$ ;  $P<0.0001$ ) y 19 ( $r=-0.309$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en las vacas de MS y de MS, respectivamente. En los animales de MS desde 7 hasta 17 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y TA bajo sombra descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde las 19 hasta las 5 h de retraso. En el grupo de MD, desde 7 hasta 18 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y TA en sombra descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En estas vacas, también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde de 20 hasta 5 h de retraso.

**Tabla 5. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sombra en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Temperatura del Aire Bajo Sombra								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	-0.00 0.4917 22,496	-0.08 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	0.48 <.0001 22,400	0.36 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	-0.42 <.0001 22,304	-0.24 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	0.18 <.0001 22,484	0.07 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	0.37 <.0001 22,388	0.31 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	-0.46 <.0001 22,292	-0.28 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	0.34 <.0001 22,472	0.19 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	0.25 <.0001 22,376	0.23 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	-0.47 <.0001 22,280	-0.298 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	0.46 <.0001 22,460	0.29 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	0.11 <.0001 22,364	0.14 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	-0.45 <.0001 22,268	-0.309 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	0.54 <.0001 22,448	0.36 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	-0.02 0.0003 22,352	0.06 <.0001 32,562	<b>20 h de retraso</b>	-0.41 <.0001 22,256	-0.307 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	0.59 <.0001 22,436	0.40 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	-0.14 <.0001 22,340	-0.01 0.0737 32,562	<b>21 h de retraso</b>	-0.34 <.0001 22,244	-0.29 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	0.59 <.0001 22,424	0.42 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	-0.26 <.0001 22,328	-0.10 <.0001 32,562	<b>22 h de retraso</b>	-0.26 <.0001 22,232	-0.25 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	0.55 <.0001 22,412	0.41 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	-0.36 <.0001 22,316	-0.18 <.0001 32,562	<b>23 h de retraso</b>	-0.14 <.0001 22,220	-0.17 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

#### **4.3.4 Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Humedad Relativa Bajo Sol**

La tabla 6 muestra los coeficientes de correlación observados entre la TVAG y la HR determinada bajo la exposición directa al sol en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, la HR bajo sol mostró una mayor asociación con la TVAG en animales con MS que en sus contemporáneas de MD. Las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y la HR bajo sol ocurrieron al tener en cuenta 18 ( $r=0.431$ ;  $P<0.0001$ ) y 20 h de retraso ( $r=0.284$ ;  $P<0.0001$ ) en los animales de MS y de MD, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 6 h de retraso tanto para las vacas de MS ( $r=-0.60$ ;  $P<0.0001$ ) como para las vacas de MD ( $r=-0.45$ ;  $P<0.0001$ ). En las vacas de MS desde 19 hasta 5 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y HR en sol descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, desde 7 hasta 17 h de retraso se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos. En el grupo de MD, desde 21 hasta 5 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y HR bajo sol descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En estas vacas, también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde de 7 hasta 19 h de retraso.

**Tabla 6. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa bajo sol en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Humedad Relativa Bajo Sol								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCUALTURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
Tiempo Real	-0.02 0.0006 22,496	0.01 0.0099 32562	8 h de retraso	-0.50 <.0001 22,400	-0.40 <.0001 32,562	16 h de retraso	0.36 <.0001 22,304	0.17 <.0001 32,562
1 h de retraso	-0.19 <.0001 22,484	-0.12 <.0001 32,562	9 h de retraso	-0.40 <.0001 22,388	-0.35 <.0001 32,562	17 h de retraso	0.41 <.0001 22,292	0.22 <.0001 32,562
2 h de retraso	-0.34 <.0001 22,472	-0.22 <.0001 32,562	10 h de retraso	-0.29 <.0001 22,376	-0.28 <.0001 32,562	18 h de retraso	0.431 <.0001 22,280	0.26 <.0001 32,562
3 h de retraso	-0.45 <.0001 22,460	-0.31 <.0001 32,562	11 h de retraso	-0.17 <.0001 22,364	-0.21 <.0001 32,562	19 h de retraso	0.428 <.0001 22,268	0.280 <.0001 32,562
4 h de retraso	-0.54 <.0001 22,448	-0.38 <.0001 32,562	12 h de retraso	-0.06 <.0001 22,352	-0.15 <.0001 32,562	20 h de retraso	0.39 <.0001 22,256	0.284 <.0001 32,562
5 h de retraso	-0.59 <.0001 22,436	-0.43 <.0001 32,562	13 h de retraso	0.05 <.0001 22,340	-0.08 <.0001 32,562	21 h de retraso	0.34 <.0001 22,244	0.27 <.0001 32562
6 h de retraso	-0.60 <.0001 22,424	-0.45 <.0001 32,562	14 h de retraso	0.17 <.0001 22,328	0.001 0.1352 32,562	22 h de retraso	0.26 <.0001 22,232	0.23 <.0001 32,562
7 h de retraso	-0.57 <.0001 22,412	-0.43 <.0001 32,562	15 h de retraso	0.28 <.0001 22,316	0.10 <.0001 32,562	23 h de retraso	0.14 <.0001 22,220	0.15 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

#### **4.3.5 Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Humedad Relativa Bajo Sombra**

La tabla 7 muestra las relaciones observadas entre la TVAG y la HR medida bajo sombra en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, la HR bajo sombra mostró una mayor asociación con la TVAG en animales con MS que en sus contemporáneas de MD. En este caso las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y la HR bajo sombra ocurrieron al tener en cuenta 18 ( $r=0.444$ ;  $P<0.0001$ ) y 20 h de retraso ( $r=0.288$ ;  $P<0.0001$ ) en las vacas de MS y de MD, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 6 h de retraso, tanto en los animales de MS ( $r=-0.59$ ;  $P<0.0001$ ) como en las de MD ( $r=-0.431$ ;  $P<0.0001$ ). En las vacas de MS, desde 19 hasta 5 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y HR bajo sombra descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, desde 7 hasta 17 h de retraso se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos. En el grupo de MD, desde 21 hasta 5 h de retraso, los coeficientes de correlación entre la TVAG y HR bajo sombra descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En estas vacas también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde de 7 hasta 19 h de retraso.

**Tabla 7. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la humedad relativa bajo sombra en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Humedad Relativa Bajo Sombra								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	0.06 <.0001 22,496	0.08 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	-0.52 <.0001 22,400	-0.41 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	0.36 <.0001 22,304	0.18 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	-0.12 <.0001 22,484	-0.07 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	-0.44 <.0001 22,388	-0.36 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	0.42 <.0001 22,292	0.234 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	-0.28 <.0001 22,472	-0.19 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	-0.33 <.0001 22,376	-0.30 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	0.444 <.0001 22,280	0.26 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	-0.41 <.0001 22,460	-0.27 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	-0.21 <.0001 22,364	-0.23 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	0.443 <.0001 22,268	0.280 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	-0.50 <.0001 22,448	-0.35 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	-0.09 <.0001 22,352	-0.16 <.0001 32,562	<b>20 h de retraso</b>	0.42 <.0001 22,256	0.288 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	-0.57 <.0001 22,436	-0.40 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	0.03 <.0001 22,340	-0.09 <.0001 32,562	<b>21 h de retraso</b>	0.37 <.0001 22,244	0.287 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	-0.59 <.0001 22,424	-0.431 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	0.15 <.0001 22,328	-0.00 0.6006 32,562	<b>22 h de retraso</b>	0.31 <.0001 22,232	0.27 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	-0.57 <.0001 22,412	-0.428 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	0.27 <.0001 22,316	0.09 <.0001 32,562	<b>23 h de retraso</b>	0.21 <.0001 22,220	0.21 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

#### **4.3.6 Correlación entre la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol**

En la tabla 8 se observan los coeficientes de correlación entre la TVAG y el ITH determinado bajo exposición al sol en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, el ITH bajo sol mostró una mayor asociación con la TVAG en animales con MS que en sus contemporáneas de MD. Las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y el ITH bajo sol ocurrieron al tener en cuenta 5 ( $r=0.59$ ;  $P<0.0001$ ) y 6 ( $r=0.42$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en las vacas de MS y de MD, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 17 ( $r=-0.47$ ;  $P<0.0001$ ) y las 19 ( $r=-0.302$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en los animales de MS y de MD, respectivamente. En las vacas de MS, desde 6 hasta 16 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y el ITH bajo sol descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, desde 18 hasta 4 h de retraso se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos. En el grupo de MD, desde 7 hasta 18 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y el ITH bajo sol descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En estas vacas, también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde de 20 hasta 5 h de retraso.

**Tabla 8. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sol en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	0.05 <.0001 22,496	-0.04 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	0.44 <.0001 22,400	0.33 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	-0.45 <.0001 22,304	-0.27 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	0.22 <.0001 22,484	0.10 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	0.32 <.0001 22,388	0.26 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	-0.47 <.0001 22,292	-0.295 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	0.37 <.0001 22,472	0.21 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	0.19 <.0001 22,376	0.18 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	-0.45 <.0001 22,280	-0.299 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	0.48 <.0001 22,460	0.30 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	0.05 <.0001 22,364	0.09 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	-0.43 <.0001 22,268	-0.302 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	0.56 <.0001 22,448	0.37 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	-0.08 <.0001 22,352	0.01 0.0438 32,562	<b>20 h de retraso</b>	-0.37 <.0001 22,256	-0.29 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	0.59 <.0001 22,436	0.41 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	-0.20 <.0001 22,340	-0.06 <.0001 32,562	<b>21 h de retraso</b>	-0.30 <.0001 22,244	-0.26 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	0.58 <.0001 22,424	0.42 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	-0.31 <.0001 22,328	-0.15 <.0001 32,562	<b>22 h de retraso</b>	-0.20 <.0001 22,232	-0.21 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	0.53 <.0001 22,412	0.39 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	-0.40 <.0001 22,316	-0.22 <.0001 32,562	<b>23 h de retraso</b>	-0.08 <.0001 22,220	-0.13 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

#### **4.3.7 Correlación entre la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sombra**

En la tabla 9 se encuentran los coeficientes de correlación determinados entre la TVAG y el ITH bajo sombra en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, el ITH bajo sombra mostró una mayor asociación con la TVAG en animales con MS que en sus contemporáneas de MD. Las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y el ITH bajo sombra ocurrieron al tener en cuenta 5 ( $r=0.59$ ;  $P<0.0001$ ) y 6 ( $r=0.41$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en los animales de MS y de MD, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 17 ( $r=-0.46$ ;  $P<0.0001$ ) y 19 ( $r=-0.2894$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en las vacas de MS y de MD, respectivamente. En las vacas de MS, desde 6 hasta 16 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y el ITH bajo sombra descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, desde 18 hasta 4 h de retraso se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos. En el grupo de MD, desde 7 hasta 18 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y el ITH bajo sombra descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En estas vacas, también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde de 20 hasta 5 h de retraso.

**Tabla 9. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sombra en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sombra								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	0.03 <.0001 22,496	-0.06 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	0.44 <.0001 22,400	0.34 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	-0.44 <.0001 22,304	-0.26 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	0.21 <.0001 22,484	0.09 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	0.33 <.0001 22,388	0.27 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	-0.46 <.0001 22,292	-0.2889 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	0.36 <.0001 22,472	0.21 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	0.20 <.0001 22,376	0.19 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	-0.44 <.0001 22,280	-0.2891 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	0.48 <.0001 22,460	0.30 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	0.06 <.0001 22,364	0.10 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	-0.41 <.0001 22,268	-0.2894 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	0.55 <.0001 22,448	0.37 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	-0.08 <.0001 22,352	0.01 0.0490 32,562	<b>20 h de retraso</b>	-0.36 <.0001 22,256	-0.28 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	0.59 <.0001 22,436	0.40 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	-0.19 <.0001 22,340	-0.06 <.0001 32,562	<b>21 h de retraso</b>	-0.28 <.0001 22,244	-0.25 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	0.58 <.0001 22,424	0.41 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	-0.31 <.0001 22,328	-0.14 <.0001 32,562	<b>22 h de retraso</b>	-0.19 <.0001 22,232	-0.20 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	0.53 <.0001 22,412	0.39 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	-0.39 <.0001 22,316	-0.21 <.0001 32,562	<b>23 h de retraso</b>	-0.08 <.0001 22,220	-0.13 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

#### **4.3.8 Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Velocidad del Viento**

En la tabla 10 se encuentran los coeficientes de correlación obtenidos entre la TVAG y la VV en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, la VV mostró una mayor asociación con la TVAG en animales con MS que en sus contemporáneas de MD. Las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y la VV ocurrieron al tener en cuenta 6 h de retraso, tanto en las vacas de MS ( $r=0.575$ ;  $P<0.0001$ ) como en aquellas de MD ( $r=0.41$ ;  $P<0.0001$ ). La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 18 ( $r=-0.45$ ;  $P<0.0001$ ) y 19 ( $r=-0.31$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en las vacas de MS y de MD, respectivamente. En las vacas de MS, desde 7 hasta 17 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y la VV descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, desde 19 hasta 5 h de retraso se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos. En el grupo de MD, desde 7 hasta 18 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y la VV descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En estas vacas, también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar valores positivos desde de 20 hasta 5 h de retraso.

**Tabla 10. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad del viento en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Velocidad del Viento								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	0.04 <.0001 22,496	-0.03 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	0.45 <.0001 22,400	0.34 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	-0.38 <.0001 22,304	-0.19 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	0.20 <.0001 22,484	0.09 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	0.34 <.0001 22,388	0.27 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	-0.43 <.0001 22,292	-0.25 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	0.33 <.0001 22,472	0.19 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	0.22 <.0001 22,376	0.20 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	-0.45 <.0001 22,280	-0.29 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	0.44 <.0001 22,460	0.27 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	0.10 <.0001 22,364	0.14 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	-0.44 <.0001 22,268	-0.31 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	0.53 <.0001 22,448	0.35 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	-0.00 0.4985 22,352	0.08 <.0001 32,562	<b>20 h de retraso</b>	-0.39 <.0001 22,256	-0.30 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	0.571 <.0001 22,436	0.40 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	-0.11 <.0001 22,340	0.03 <.0001 32,562	<b>21 h de retraso</b>	-0.32 <.0001 22,244	-0.26 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	0.575 <.0001 22,424	0.41 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	-0.21 <.0001 22,328	-0.05 <.0001 32,562	<b>22 h de retraso</b>	-0.22 <.0001 22,232	-0.22 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	0.53 <.0001 22,412	0.39 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	-0.30 <.0001 22,316	-0.13 <.0001 32,562	<b>23 h de retraso</b>	-0.09 <.0001 22,220	-0.12 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

#### **4.3.9 Correlación entre la Temperatura Vaginal y la Velocidad del Ráfaga**

La tabla 11 presenta los coeficientes de correlación entre la TVAG y la VR en tiempo real y en tiempo de retraso durante un periodo de 23 h. En general, la VR mostró una mayor asociación con la TVAG en animales con MS que en sus contemporáneas de MD. Las mayores correlaciones positivas entre la TVAG y la VR ocurrieron al tener en cuenta 5 ( $r=0.57$ ;  $P<0.0001$ ) y 6 ( $r=0.41$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en los animales de MS y de MD, respectivamente. La mayor asociación negativa entre ambas variables fue observada al analizar las 18 ( $r=-0.41$ ;  $P<0.0001$ ) y 19 ( $r=-0.27$ ;  $P<0.0001$ ) h de retraso en las vacas de MS y de MD, respectivamente. En las vacas de MS, desde 6 hasta 17 h de retraso los coeficientes de correlación entre la TVAG y la VR descendieron linealmente hasta alcanzar valores negativos. En este mismo grupo, desde 19 hasta 4 h de retraso se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta alcanzar coeficientes positivos. En el grupo de MD, desde 7 hasta 18 h de retraso las relaciones entre la TVAG y la VR descendieron linealmente hasta alcanzar coeficientes negativos. En estas vacas, también se observó un aumento lineal en las correlaciones entre ambas variables hasta llegar a valores positivos desde de 20 hasta 5 h de retraso.

**Tabla 11. Coeficientes de correlación entre la temperatura vaginal y la velocidad de ráfaga en tiempo real y de retraso en vacas Senepol con musculatura sencilla y sus contemporáneas de musculatura doble.**

Velocidad de Ráfaga								
TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE	TEMPERATURA VAGINAL	MUSCULATURA SENCILLA	MUSCULATURA DOBLE
<b>Tiempo Real</b>	0.05 <.0001 22,496	-0.02 <.0001 32,562	<b>8 h de retraso</b>	0.44 <.0001 22,400	0.34 <.0001 32,562	<b>16 h de retraso</b>	-0.36 <.0001 22,304	-0.19 <.0001 32,562
<b>1 h de retraso</b>	0.21 <.0001 22,484	0.11 <.0001 32,562	<b>9 h de retraso</b>	0.34 <.0001 22,388	0.28 <.0001 32,562	<b>17 h de retraso</b>	-0.40 <.0001 22,292	-0.23 <.0001 32,562
<b>2 h de retraso</b>	0.35 <.0001 22,472	0.20 <.0001 32,562	<b>10 h de retraso</b>	0.22 <.0001 22,376	0.21 <.0001 32,562	<b>18 h de retraso</b>	-0.41 <.0001 22,280	-0.26 <.0001 32,562
<b>3 h de retraso</b>	0.45 <.0001 22,460	0.28 <.0001 32,562	<b>11 h de retraso</b>	0.10 <.0001 22,364	0.14 <.0001 32,562	<b>19 h de retraso</b>	-0.39 <.0001 22,268	-0.27 <.0001 32,562
<b>4 h de retraso</b>	0.53 <.0001 22,448	0.35 <.0001 32,562	<b>12 h de retraso</b>	-0.00 0.5254 22,352	0.08 <.0001 32,562	<b>20 h de retraso</b>	-0.34 <.0001 22,256	-0.25 <.0001 32,562
<b>5 h de retraso</b>	0.570 <.0001 22,436	0.40 <.0001 32,562	<b>13 h de retraso</b>	-0.11 <.0001 22,340	0.03 <.0001 32,562	<b>21 h de retraso</b>	-0.26 <.0001 22,244	-0.22 <.0001 32,562
<b>6 h de retraso</b>	0.568 <.0001 22,424	0.41 <.0001 32,562	<b>14 h de retraso</b>	-0.21 <.0001 22,328	-0.05 <.0001 32,562	<b>22 h de retraso</b>	-0.18 <.0001 22,232	-0.19 <.0001 32,562
<b>7 h de retraso</b>	0.53 <.0001 22,412	0.39 <.0001 32,562	<b>15 h de retraso</b>	-0.30 <.0001 22,316	-0.13 <.0001 32,562	<b>23 h de retraso</b>	-0.06 <.0001 22,220	-0.10 <.0001 32,562

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas.

#### 4.4 Análisis de Regresión entre la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire e Índice de Temperatura y Humedad.

Las gráficas a continuación (Figuras 13-16) muestran la relación entre la TVAG y las condiciones ambientales que presentan valores críticos para termorregulación en la literatura existente (TA e ITH). En esta investigación la función cuadrática fue la función que mejor describió la relación entre la TVAG y estas condiciones ambientales evaluadas.

##### 4.4.1 Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sol

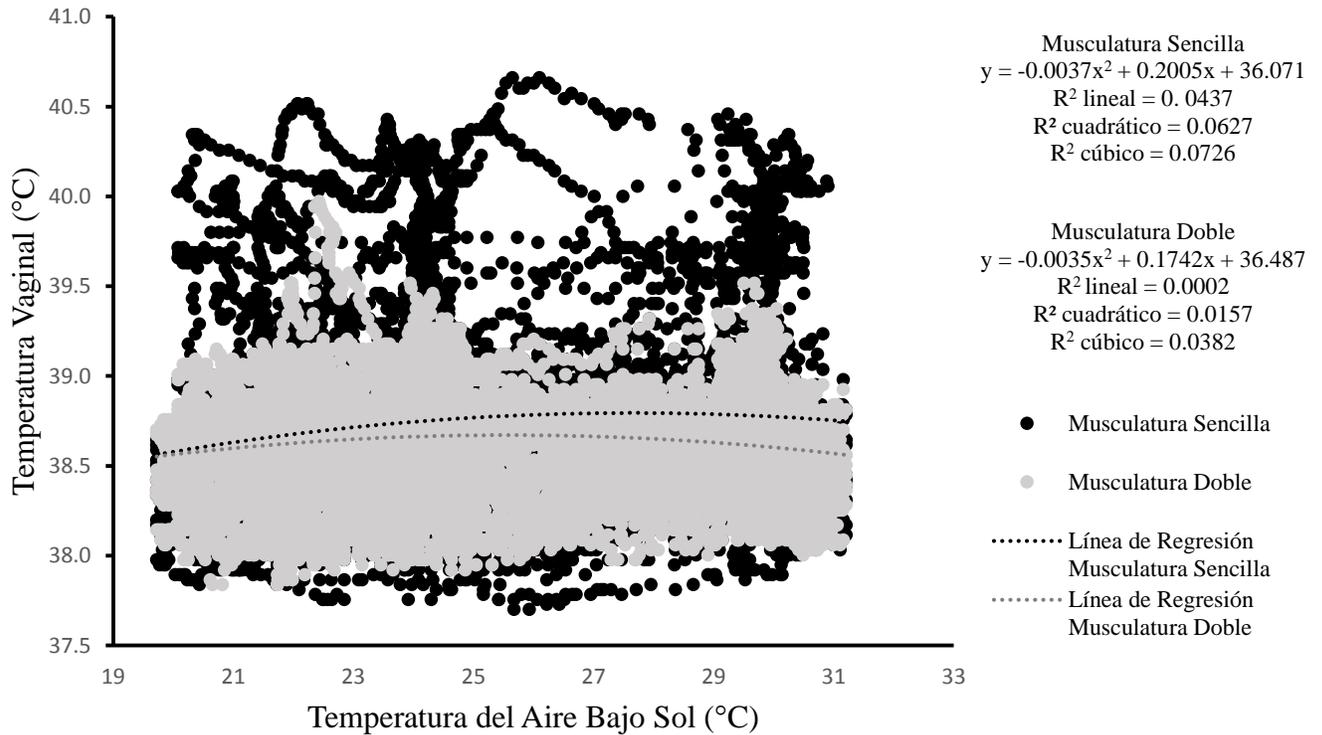


Figura 13. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sol (promediadas por hora).

#### 4.4.2 Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y la Temperatura del Aire Bajo Sombra

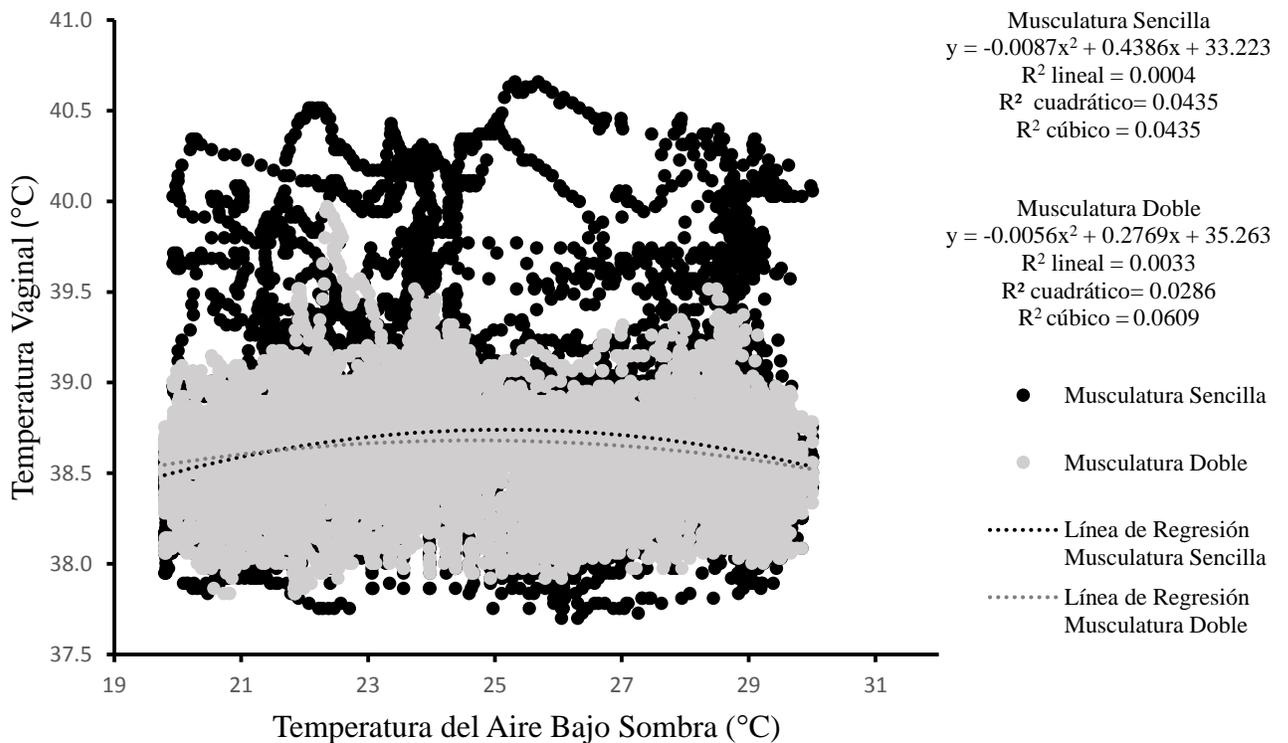
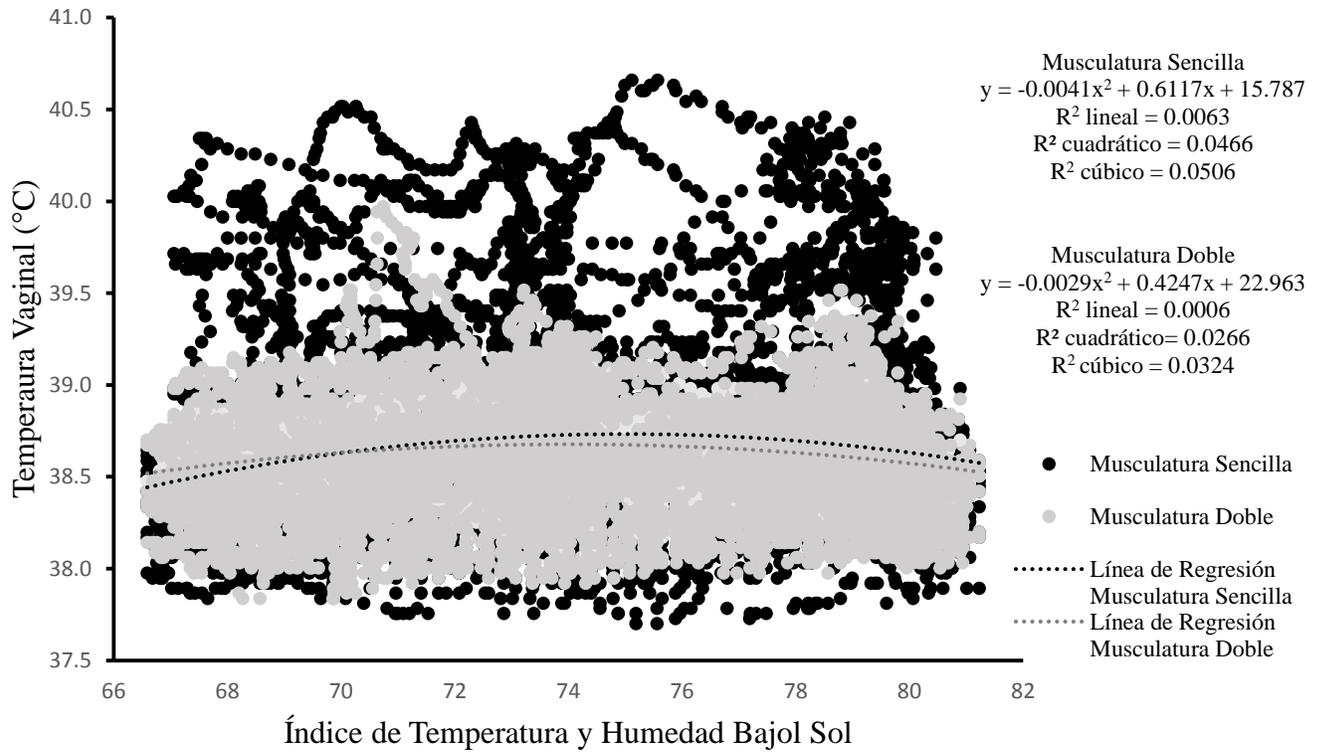


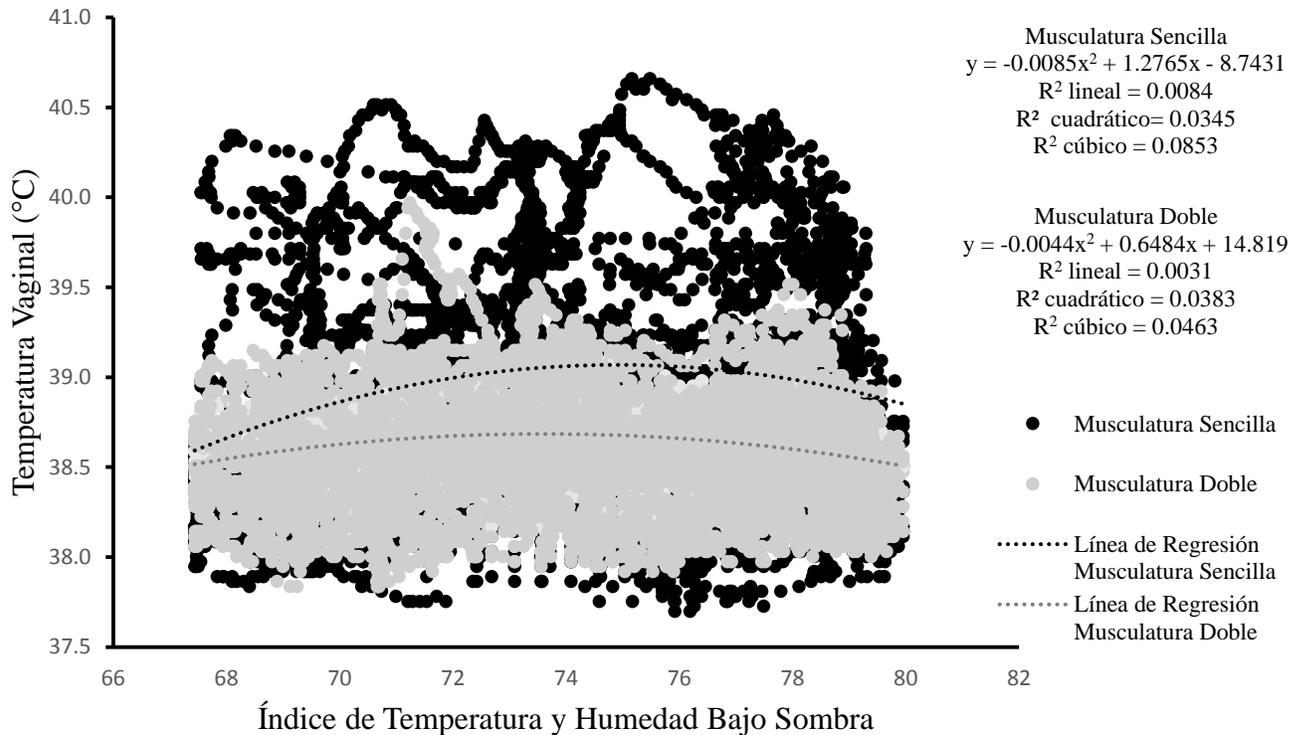
Figura 14. Relación entre la temperatura vaginal y la temperatura del aire bajo sombra (promediadas por hora).

#### 4.4.3 Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol



**Figura 15.** Relación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sol (promediadas por hora).

#### 4.4.4 Análisis de Regresión de la Temperatura Vaginal y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sombra



**Figura 16.** Relación entre la temperatura vaginal y el índice de temperatura y humedad bajo sombra (promediadas por hora).

#### 4.5 Correlaciones entre la Radiación Solar y las Condiciones Ambientales

Debido a que, como anteriormente mencionado, la RS fue la condición ambiental que mayor efecto tuvo sobre la TVAG en tiempo real, a continuación, se presenta la relación entre la RS y las demás condiciones ambientales en tiempo real (Tablas 12-19).

En general, el coeficiente de correlación de mayor valor entre la RS y todas las condiciones ambientales con excepción de la HR bajo sombra ocurrió durante la primera h de retraso y el coeficiente de correlación negativo de mayor valor, durante las 15 h de retraso. Para HR bajo sombra las respectivas correlaciones fueron observadas durante tiempo real y en 14 h de retraso. Una posible explicación para que la HR bajo sombra se comportara diferente a las demás variables

ambientales es precisamente la colocación del instrumento en la sombra, no teniendo un contacto directo con la RS. La RS tuvo un mayor efecto en la TA bajo sol seguido en orden descendente de la HR bajo sol, la VV, la TA bajo sombra, la HR bajo sombra, el ITH bajo sol, la VR y el ITH bajo sombra.

#### **4.5.1 Correlación entre la Radiación Solar y la Temperatura del Aire Bajo Sol**

La tabla 12 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y la TA bajo sol en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. La mayor correlación positiva ocurrió durante la primer h de retraso ( $r=0.89$   $P<0.001$ ). La mayor asociación negativa ocurrió durante las 15 h de retraso ( $r=-0.75$   $P<0.001$ ). A partir de las 2 a 14 h de retraso los coeficientes de correlación descendieron linealmente hasta culminar en valores negativos. Finalmente, se observó un aumento lineal en las correlaciones desde las 16 h de retraso hasta el tiempo real, alcanzando así valores positivos.

**Tabla 12. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la temperatura del aire bajo sol en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>TA BAJO SOL</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>TA BAJO SOL</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>TA BAJO SOL</b>
<b>Tiempo Real</b>	0.87 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	-0.14 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	-0.72 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	0.89 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	-0.28 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	-0.63 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	0.84 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	-0.39 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	-0.45 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	0.72 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	-0.48 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	-0.23 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	0.55 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	-0.57 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	0.03 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	0.37 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	-0.64 0.0017 65,702	<b>21 h de retraso</b>	0.30 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	0.18 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	-0.71 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	0.54 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	0.01 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	-0.75 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	0.73 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. TA bajo sol = temperatura del aire medida bajo exposición directa a la radiación solar.

#### **4.5.2 Correlación entre la Radiación Solar y la Temperatura del Aire Bajo Sombra**

La tabla 13 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y la TA bajo sombra en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. La mayor correlación positiva ocurrió durante la primer h de retraso ( $r=0.87$   $P<0.001$ ) y la mayor asociación negativa ocurrió durante las 15 h de retraso ( $r=-0.76$   $P<0.001$ ). A partir de las 2 a 14 h de retraso los coeficientes de correlación descendieron linealmente hasta culminar en valores negativos. Por último, se observó un aumento lineal en las correlaciones desde las 16 h de retraso hasta el tiempo real alcanzando así valores positivos.

**Tabla 13. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la temperatura del aire bajo sombra en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>TA BAJO SOMBRA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>TA BAJO SOMBRA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>TA BAJO SOMBRA</b>
<b>Tiempo Real</b>	0.86 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	-0.15 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	-0.72 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	0.87 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	-0.28 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	-0.60 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	0.80 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	-0.39 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	-0.41 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	0.68 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	-0.49 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	-0.17 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	0.52 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	-0.58 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	0.09 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	0.34 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	-0.66 0.0017 65,702	<b>21 h de retraso</b>	0.36 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	0.16 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	-0.73 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	0.58 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	-0.01 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	-0.76 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	0.76 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. TA bajo sombra = temperatura del aire medida bajo sombra artificial.

#### **4.5.3 Correlación entre la Radiación Solar y la Humedad Relativa Bajo Sol**

La tabla 14 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y la HR bajo sol en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. La mayor correlación positiva y negativa ocurrió durante las 15 h y primera h de retraso, respectivamente ( $r=0.64$ ;  $r=-0.88$   $P<0.001$ ). A partir de la 2 hasta las 14 h de retraso los coeficientes de correlación aumentaron linealmente alcanzando valores positivos. Finalmente, se observó un descenso lineal en las correlaciones desde las 16 h de retraso hasta el tiempo real alcanzando así valores negativos.

**Tabla 14. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la humedad relativa bajo sol en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>HR BAJO SOL</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>HR BAJO SOL</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>HR BAJO SOL</b>
<b>Tiempo Real</b>	-0.85 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	0.23 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	0.60 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	-0.88 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	0.36 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	0.51 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	-0.82 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	0.45 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	0.35 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	-0.68 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	0.51 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	0.15 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	-0.50 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	0.56 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	-0.08 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	-0.30 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	0.60 0.0017 65,702	<b>21 h de retraso</b>	-0.32 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	-0.11 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	0.63 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	-0.54 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	0.08 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	0.64 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	-0.72 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. HR bajo sol = humedad relativa medida bajo exposición directa a la radiación solar.

#### **4.5.4 Correlación entre la Radiación Solar y la Humedad Relativa Bajo Sombra**

La tabla 15 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y la HR bajo sombra en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. La mayor correlación positiva ocurrió durante las 14 h de retraso ( $r=0.653$   $P<0.001$ ). La mayor asociación negativa ocurrió durante el tiempo real ( $r=-0.86$   $P<0.001$ ). A partir de la primera hasta las 13 h de retraso los coeficientes de correlación aumentaron linealmente alcanzando valores positivos. Finalmente, se observó un descenso lineal en las correlaciones desde las 15 h de retraso hasta las 23 h de retraso alcanzando así valores negativos.

**Tabla 15. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la humedad relativa bajo sombra en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>HR BAJO SOMBRA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>HR BAJO SOMBRA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>HR BAJO SOMBRA</b>
<b>Tiempo Real</b>	-0.86 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	0.28 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	0.59 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	-0.85 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	0.39 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	0.46 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	-0.76 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	0.48 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	0.27 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	-0.62 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	0.54 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	0.04 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	-0.44 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	0.59 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	-0.19 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	-0.24 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	0.63 0.0017 65,702	<b>21 h de retraso</b>	-0.42 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	-0.05 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	0.653 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	-0.62 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	0.13 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	0.646 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	-0.72 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. HR bajo sombra = humedad relativa medida bajo sombra artificial.

#### **4.5.5 Correlación entre la Radiación Solar y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sol**

La tabla 16 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y el ITH bajo sol en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. El ITH bajo sol alcanzó la mayor asociación positiva durante la primera h de retraso ( $r=0.85$   $P<0.0001$ ). La mayor asociación negativa ocurrió durante las 15 h de retraso ( $r=-0.79$   $P<0.0001$ ). A partir de las 2 a 14 h de retraso los coeficientes de correlación descendieron linealmente hasta culminar en valores negativos. Por último, se observó un aumento lineal en las correlaciones desde las 16 h de retraso hasta el tiempo real alcanzando así valores positivos.

**Tabla 16. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y el índice de temperatura y humedad bajo sol en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>ITH BAJO SOL</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>ITH BAJO SOL</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>ITH BAJO SOL</b>
<b>Tiempo Real</b>	0.82 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	-0.06 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	-0.77 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	0.85 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	-0.20 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	-0.67 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	0.80 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	-0.33 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	-0.49 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	0.70 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	-0.44 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	-0.25 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	0.56 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	-0.55 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	0.01 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	0.40 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	-0.65 <.0001 65,702	<b>21 h de retraso</b>	0.28 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	0.24 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	-0.74 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	0.52 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	0.08 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	-0.79 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	0.70 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. ITH bajo sol = índice de temperatura y humedad medido bajo exposición directa a la radiación solar.

#### **4.5.6 Correlación entre la Radiación Solar y el Índice de Temperatura y Humedad Bajo Sombra**

La tabla 17 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y el ITH bajo sombra en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. El ITH bajo sombra alcanzó la mayor asociación positiva y negativa durante la primera h de retraso y las 15 h de retraso, respectivamente ( $r=0.82$ ;  $r=-0.80$   $P<0.0001$ ). A partir de las 2 a 14 h de retraso los coeficientes de correlación descendieron linealmente hasta culminar en valores negativos. Finalmente, se observó un aumento lineal en las correlaciones desde las 16 h de retraso hasta el tiempo real alcanzando así valores positivos.

**Tabla 17. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y el índice de temperatura y humedad bajo sombra en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>ITH BAJO SOMBRA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>ITH BAJO SOMBRA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>ITH BAJO SOMBRA</b>
<b>Tiempo Real</b>	0.80 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	-0.06 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	-0.78 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	0.82 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	-0.19 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	-0.66 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	0.77 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	-0.32 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	-0.47 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	0.68 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	-0.43 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	-0.23 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	0.54 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	-0.55 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	0.04 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	0.39 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	-0.66 0.0017 65,702	<b>21 h de retraso</b>	0.31 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	0.23 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	-0.75 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	0.53 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	0.08 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	-0.80 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	0.70 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. ITH bajo sombra = índice de temperatura y humedad medido bajo sombra artificial.

#### **4.5.7 Correlación entre la Radiación Solar y la Velocidad del Viento**

La tabla 18 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y la VV en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. Esta condición ambiental alcanzó la mayor asociación positiva durante la primera h de retraso ( $r=0.88$   $P<0.0001$ ). La mayor asociación negativa ocurrió durante las 15 h de retraso ( $r=-0.63$   $P<0.0001$ ). A partir de las 2 a 14 h de retraso los coeficientes de correlación descendieron linealmente hasta culminar en valores negativos. Finalmente, se observó un aumento lineal en las correlaciones desde las 16 h de retraso hasta el tiempo real alcanzando así valores positivos.

**Tabla 18. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la velocidad del viento en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>
<b>Tiempo Real</b>	0.85 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	-0.21 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	-0.61 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	0.88 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	-0.33 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	-0.53 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	0.82 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	-0.42 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	-0.39 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	0.69 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	-0.49 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	-0.20 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	0.50 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	-0.54 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	0.03 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	0.30 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	-0.58 0.0017 65,702	<b>21 h de retraso</b>	0.27 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	0.11 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	-0.62 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	0.50 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	-0.06 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	-0.63 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	0.70 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. VV = velocidad del viento.

#### **4.5.8 Correlación entre la Radiación Solar y la Velocidad de Ráfaga**

La tabla 19 muestra los coeficientes de correlación entre la RS y la VR en tiempo real y de retraso durante un periodo de 23 h. Esta última condición ambiental alcanzó la mayor asociación positiva durante la primera h de retraso ( $r=0.84$   $P<0.0001$ ). La mayor asociación negativa ocurrió durante las 15 h de retraso ( $r=-0.66$   $P<0.0001$ ). También, a partir de las 2 a 14 h de retraso los coeficientes de correlación descendieron linealmente hasta culminar en valores negativos. Por último, se observó un aumento lineal en las correlaciones de las 16 h de retraso hasta el tiempo real alcanzando así valores positivos.

**Tabla 19. Coeficientes de correlación entre la radiación solar y la velocidad de ráfaga en tiempo real y de retraso.**

<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>VELOCIDAD DE RÁFAGA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>VELOCIDAD DE RÁFAGA</b>	<b>RADIACIÓN SOLAR</b>	<b>VELOCIDAD DE RÁFAGA</b>
<b>Tiempo Real</b>	0.81 <.0001 65,702	<b>8 h de retraso</b>	-0.16 <.0001 65,702	<b>16 h de retraso</b>	-0.63 <.0001 65,702
<b>1 h de retraso</b>	0.84 <.0001 65,702	<b>9 h de retraso</b>	-0.27 <.0001 65,702	<b>17 h de retraso</b>	-0.54 <.0001 65,702
<b>2 h de retraso</b>	0.77 <.0001 65,702	<b>10 h de retraso</b>	-0.37 <.0001 65,702	<b>18 h de retraso</b>	-0.39 <.0001 65,702
<b>3 h de retraso</b>	0.66 <.0001 65,702	<b>11 h de retraso</b>	-0.45 <.0001 65,702	<b>19 h de retraso</b>	-0.19 <.0001 65,702
<b>4 h de retraso</b>	0.49 <.0001 65,702	<b>12 h de retraso</b>	-0.52 <.0001 65,702	<b>20 h de retraso</b>	0.03 <.0001 65,702
<b>5 h de retraso</b>	0.32 <.0001 65,702	<b>13 h de retraso</b>	-0.58 0.0017 65,702	<b>21 h de retraso</b>	0.27 <.0001 65,702
<b>6 h de retraso</b>	0.14 <.0001 65,702	<b>14 h de retraso</b>	-0.64 <.0001 65,702	<b>22 h de retraso</b>	0.49 <.0001 65,702
<b>7 h de retraso</b>	-0.01 <.0001 65,702	<b>15 h de retraso</b>	-0.66 <.0001 65,702	<b>23 h de retraso</b>	0.68 <.0001 65,702

Nota: Los valores presentados son los coeficientes de correlación de Pearson sobre sus respectivos niveles de significancia y cantidad de observaciones evaluadas. VR = velocidad de ráfaga.

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 Temperatura Vaginal

Nuestros resultados (figura 3) coinciden con los reportados por Howard et al. (2013) quienes encontraron en novillas con influencia Angus, Simmental y Piedmontese una mayor TVAG en animales de MS en comparación con aquellos heterocigotos para MD bajo condiciones de verano en Nebraska. Sin embargo, es importante mencionar que dichas diferencias en temperatura corporal desaparecieron cuando los animales fueron evaluados durante el invierno. Durante esta época de verano, ellos observaron condiciones ambientales promedio de TA, HR, VV y RS de  $24.0 \pm 4.4^{\circ}\text{C}$ ,  $81.9 \pm 15\%$ ,  $4.7 \pm 2.5 \text{ km/h}$  y  $201.1 \pm 248 \text{ kcal/m}^2/\text{h}$ , respectivamente. Similarmente, Lammoglia et al. (1999) observaron, al comparar becerros con influencia Piedmontese (homocigotos y heterocigotos para MD) con becerros con influencia Hereford de MS bajo condiciones ambientales cálidas (TA promedios de  $22^{\circ}\text{C}$ ), una menor temperatura rectal en los primeros. Sin embargo, una h después de exponer estos animales a condiciones ambientales frías ( $0^{\circ}\text{C}$ ) este comportamiento en temperatura se invirtió.

Al menos parcialmente, este comportamiento podría ser atribuido a diferencias en el tamaño de las vísceras entre ambos genotipos. Vissac et al. (1968) reportaron un menor tamaño de los órganos internos de toros Charolais de MD, incluyendo el bazo, corazón, hígado, pulmones y volumen de sangre, en comparación con sus contemporáneos de MS. De la misma manera, se ha reportado un menor tamaño en las glándulas adrenales, tracto digestivo, corazón, pulmones, bazo y timo en toros Belgian Blue de MD que en toros White Breed, pero de MS (Ansay et al., 1979). El tamaño de los órganos internos tiene una alta correlación positiva con el gasto de energía del animal, representando de un 40 a un 50% del total del mismo, aunque estos solo representen menos del 10% de la masa corporal total (Ferrell, 1988). Es importante recordar que la energía no puede

ser creada o destruida, pero sí transformada en diferentes formas, incluyendo calor (Giancoli, 2005). Por esto, parte de esta energía metabolizada por las vísceras en los procesos biológicos se pierde en forma de calor (Hungate, 1966), contribuyendo así al estado térmico del animal. Esto podría ayudar a explicar nuestros resultados debido a que un menor tamaño de las vísceras en los animales con MD podría resultar en una menor producción de calor metabólico y una subsecuente menor temperatura corporal, en comparación con aquellos de MS.

Además, el ganado de MD se caracteriza por tener un menor contenido de grasa corporal en comparación con el ganado de MS (Short et al., 2002; Fiems, 2012). De hecho, múltiples autores han reportaron en diversas razas una relación inversa entre la cantidad de copias del gen de miostatina mutado que posee el animal y la cantidad de grasa intramuscular, subcutánea e interna, con MS > heterocigoto de MD > homocigoto de MD (Short et al., 2002; Casas et al., 2004; Wiener et al., 2009). Aunque en nuestro estudio no se determinó la cantidad de tejido adiposo corporal, sí fue claramente visible una mayor definición muscular en las vacas de MD que en las de MS, sugiriendo una menor deposición de grasa subcutánea, lo cual podría ayudar a una mejor disipación de calor hacia el medio ambiente. En su artículo, Sánchez et al. (2013) sugirieron que una mayor cantidad de tejido adiposo subcutáneo presente en el animal podría limitar la disipación de calor desde el centro del cuerpo hasta el ambiente externo, lo cual conduciría a un mayor almacenamiento de calor corporal y un subsecuente aumento en la temperatura corporal. De hecho, se ha reportado que el ganado *Bos indicus* presenta una menor deposición de tejido adiposo corporal que el *Bos taurus* (Ledger, 1959; Finch, 1986). Esto resulta en una menor resistencia en la transferencia de calor desde el interior del cuerpo hacia el medio ambiente, resultando en una menor temperatura corporal en ambientes conducentes a estrés por calor en comparación con el ganado *Bos taurus* (Finch, 1986). Esto también concuerda con lo planteado por Reid et al. (1971),

Thompson et al. (1983), Vermorel et al. (1989) y Mader et al. (1999b), quienes también reportaron que el tejido adiposo ejerce un efecto aislante, reduciendo la disipación de calor y afectando la temperatura corporal del animal en novillas, vacas, becerros recién nacidos y toretes, respectivamente.

Debido a las diferencias previamente discutidas en cuanto al tamaño del tracto digestivo entre ambos genotipos, la capacidad de consumo de materia seca es reducida en animales de MD (Fiems, 2012). De hecho, Geay et al. (1982) observaron un menor consumo de materia seca en ganado Charolais de MD que en sus contemporáneos Holstein y Charolais de MS. Asimismo, se ha encontrado un menor consumo de alimento en animales Belgian White-Blue de MD, en comparación con animales de la misma raza, pero de MS (Fiems et al., 1997; Fiems et al., 1999). Un menor tamaño del tracto digestivo y un subsecuente menor consumo de materia seca podría tener un impacto limitante sobre la cantidad de alimento digerido por unidad de tiempo, contribuyendo a la menor producción de calor metabólico sugerida anteriormente. De hecho, Clinquart et al. (1995) compararon toros Belgian Blue de MD con toros Holstein y encontraron una digestibilidad aparente menor en los primeros. Además, la fermentación microbiana ruminal produce una cantidad considerable de calor (Hungate, 1966), afectando la temperatura corporal del animal (AlZahal et al., 2011). Tanto es así que la temperatura ruminal ha sido extensivamente utilizada como un indicador fisiológico confiable en bovinos (Cooper-Prado et al., 2011; Rose-Dye et al., 2011; Wahrmund et al., 2012). Por lo tanto, las diferencias en el tamaño del tracto digestivo y en el consumo de materia seca previamente discutidas entre ambos genotipos podrían tener un efecto limitante sobre la cantidad de calor generado a nivel ruminal, resultando en menor temperatura corporal en animales de MD.

## 5.2 Relación entre la Temperatura Vaginal y las Condiciones Ambientales

Diversos autores han reportado valores críticos de TA en los cuales el desempeño del ganado vacuno puede afectarse adversamente. Berman et al. (1985) indicaron que los valores críticos de TA que resultan en un aumento significativo en la temperatura corporal y en la tasa respiratoria en ganado lechero se encuentran entre 25 a 26°C. Kadzere et al. (2002) mencionaron que una vez la TA sobrepasaba los 26°C la vaca entra en estrés por calor al no poder termoregularse adecuadamente, resultando en un aumento en su temperatura corporal. Además, Hahn (1999) reportó un umbral de TA de aproximadamente 25°C, asociando a este con un descenso en el consumo de materia seca en ganado de carne. También, Lefcourt y Adams (1996) observaron un aumento en temperatura corporal en ganado de carne a partir de los 25.6°C de TA. En nuestro estudio la TA sobrepasó su umbral crítico de 25°C el 54.8 y el 58.2% del día bajo condiciones de sombra y de sol, respectivamente (figuras 5 y 6).

Por otro lado, diversos autores han reportado que el valor crítico de ITH en donde las vacas lecheras disminuyen su producción a causa del estrés por calor se encuentra en el rango de 68 a 72 (Igono et al., 1992; Armstrong, 1994; Zimbelman y Collier, 2011). Durante la presente investigación los ITH bajo sombra y bajo sol excedieron el valor crítico de 68 durante el 98.0 y el 95.6% del día, respectivamente (figuras 9 y 10). Esto sugiere que, según la literatura existente en ganado lechero *Bos taurus*, nuestras vacas estuvieron expuestas a condiciones ambientales conducentes a estrés por calor durante la mayor parte del día. Sin embargo, nuestros resultados no mostraron un comportamiento de “broken stick” indicativo de valores críticos en la TA e ITH (Figuras 13-16). Esto indica que el ganado Senepol es una raza altamente adaptada al calor de nuestra isla.

Nuestras condiciones ambientales pueden representar un gran problema en cuanto a la termorregulación del ganado. Al vivir en una isla tropical con alta RS, también estamos expuestos a una alta TA y HR. Las vacas son animales homeotermos, lo que implica, entre otras cosas, que para mantener una fisiología apropiada ellas requieren mantener su temperatura corporal dentro un rango de valores relativamente pequeño (Berman, 2011). Para lograr esto la vaca debe ser capaz de regular el balance entre su ganancia y su disipación de calor durante el día (Collier et al., 2006). Para una vaca, sus fuentes de calor incluyen el calor interno o metabólico y el calor externo o ambiental (Collier et al., 2006). Si el animal no puede disipar su calor corporal eficientemente, este entra en lo que se conoce como estrés por calor (Collier et al., 2006).

En su experimento, Harris et al. (1960) encontraron que la RS fue una de las causantes principales de un aumento en la tasa de respiración y temperatura corporal en ganado lechero expuesto al sol. Diversos autores han destacado la importancia de esta condición ambiental en la capacidad térmica del animal (Walsberg, 1992; Collier et al., 2006; Mader et al., 2006; Tucker et al., 2008).

En el presente estudio se observaron mayores asociaciones entre la TVAG y las condiciones ambientales en tiempo de retraso que en tiempo real (tablas 3-11). Esto sugiere que el efecto que tienen las condiciones ambientales sobre la TVAG no es inmediato, sino que toma tiempo el observar una respuesta fisiológica del animal ante el ambiente al cual es expuesto. De hecho, distintos autores han encontrado periodos de retraso entre las respuestas termorreguladoras del animal y su ambiente.

Hahn et al. (1990) establecieron que el efecto de la TA sobre la temperatura corporal puede tardar de dos a cinco h en ganado de carne. También en este tipo de ganado, Gaughan et al. (2000) encontraron dos h de retraso entre el efecto de la TA y la tasa de respiración. Por otro lado, se ha

observado un periodo de retraso de dos días entre el efecto de la HR, el ITH y la TA (valores críticos para el animal) sobre la temperatura de la leche, el consumo de materia seca y la producción en ganado lechero (West, 2003). Así mismo, Kendall et al. (2006) observaron dos h de retraso entre el efecto del ITH sobre la TVAG en ganado de leche. Estos periodos de retraso representan el tiempo requerido para que la ganancia de calor proveniente del ambiente y el metabolismo exceda los mecanismos de disipación de calor disponibles para el animal (Mader et al., 2006b). Dependiendo de la magnitud de las condiciones ambientales, será el efecto en la prolongación de los periodos de retraso.

### **5.3 Relación entre la Radiación Solar y las Condiciones Ambientales**

La RS afecta directa e indirectamente todo el medio ambiente (Campillo et al, 2012). No toda la radiación emitida por el sol llega a la superficie de la tierra, sino que una parte de esta es absorbida por los gases en la atmósfera, principalmente el ozono (Campillo et al., 2012). A su vez, la atmósfera refleja esta radiación mediante las nubes y la propaga al espacio y a la superficie terrestre en donde luego es irradiada (Geiger, 1950, Campillo et al., 2012).

El calor disipado de la tierra a través de evaporación, conducción, radiación y/o convección (Geiger, 1950) calienta el aire, haciéndolo menos denso (Gipe, 2004). Por ende, este sube en la atmósfera siendo sustituido por aire fresco proveniente de capas más altas en la misma y creando corrientes de aire, contribuyendo así al viento (Gipe, 2004) y a las ráfagas, un aumento de breve duración en la VV (Weather.gov, 2015). Esto pudo ser observado durante las h de la tarde en las figuras 11 y 12 en donde hubo un aumento en la VV y en la VR, respectivamente.

El calor terrestre disipado por la evaporación aumenta la cantidad total de vapor de agua en el aire, pero como el aire caliente es menos denso, la HR se reduce (Geiger, 1950). Como

resultado, existe una correlación negativa entre la TA y la HR (Geiger, 1950), lo cual puede observarse en las figuras 7 y 8. Estas dos condiciones ambientales (la TA y la HR) forman parte del ITH. Mediante la ecuación del ITH utilizada por Vitali et al. (2009) se genera una relación matemática directamente proporcional entre esta variable y la TA. Es decir, a medida que el ITH aumente, la TA también aumentará. Por otro lado, como mencionado anteriormente, la TA exhibe una correlación negativa con la HR. Esto mismo con el ITH (también está negativamente asociado con la HR) debido a las relaciones previamente explicadas.

## 6 CONCLUSIÓN

En el presente estudio, la temperatura vaginal en vacas Senepol de MS recibió un mayor impacto de las condiciones ambientales en comparación con la de sus contemporáneos de MD. Este efecto continuó siendo experimentado por el animal aún tiempo después de haber estado expuesto a las condiciones ambientales. Nuestros resultados sugieren que vacas MD son capaces de mantener una menor temperatura corporal bajo un ambiente cálido. Diferentes autores sugieren un reducido tamaño visceral en animales MD de otras razas, lo cual podría resultar en una menor producción de calor metabólico, ayudando a explicar el comportamiento observado en la presente investigación.

La RS fue la variable evaluada con mayor efecto sobre la temperatura corporal de estos animales (MD y MS). Aún más, esta ejerció un efecto considerable sobre las demás condiciones ambientales evaluadas. Futuros estudios deben evaluar detalladamente la producción de calor metabólico en ambos fenotipos. Además, se debe evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre la TVAG en ambos fenotipos durante la época caliente del año.

## 7 LITERATURA CITADA

- Al-Haidary, A., D.E. Spiers, G.E. Rottinghaus, G.B Garner y M.R Ellersieck, M.R. 2001. Thermoregulatory ability of beef heifers following intake of endophyte-infected tall fescue during controlled heat challenge. *J. Anim. Sci.* 79(7), 1780-1788.
- AlZahal, O., H. AlZahal, M.A. Steele, M. VanSchaik, I. Kyriazakis, T.F. Duffield y B.W McBride. 2011. The use of radiotelemetric ruminal bolus to detect body temperature changes in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 94:3568-3574.
- AlZahal, O., E. Kebreab, J. France, M. Froetschel y B.W. McBride. 2008. Ruminal temperature may aid in the detection of subacute ruminal acidosis. *J. Dairy Sci.* 91:202-207.
- Amundson, J.L., T.L. Mader, R.J. Rasby y Q.S. Hu. 2006. Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84(12), 3415-3420.
- Ansay, M. y R. Hanset. 1979. Anatomical, physiological and biochemical differences between conventional and double-muscled cattle in the Belgian Blue and White breed. *Livestock Production Science.* 6(1), 5-13.
- Aoki, M., K. Kimura y O. Suzuki. 2005. Predicting time of parturition from changing vaginal temperature measured by data-logging apparatus in beef cows with twin fetuses. *Anim. Reprod. Sci.* 86(1), 1-12.
- Arias, R.A., T.L. Mader y A.M. Parkhurst. 2011. Effects of diet type and metabolizable energy intake on tympanic temperature of steers fed during summer and winter seasons. *J. Anim. Sci.* 89(5), 1574-1580.
- Arkin, H., E. Kimmel, A. Berman y D. Broday. 1991. (Abstract). Heat transfer properties of dry and wet furs of dairy cows. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 34, 2550-2558.
- Armstrong, D. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77(7), 2044-2050.
- Arnold, H., M.A. Della-Fera y C.A. Baile. 2001. Review of myostatin history, physiology and applications. *Int Arch Biosci.* 114, 1014-1022.
- Arthur, P.F., M. Makarechian y M.A. Price. 1988. Incidence of dystocia and perinatal calf mortality resulting from reciprocal crossing of double-muscled and normal cattle. *Can. Vet. J.* 29, 163-167.
- Ashmore, C.R., W. Parker, H. Stokes y L. Doerr. 1974. Comparative aspects of muscle fiber types in fetuses of the normal and "double-muscled" cattle. *Growth.* 38, 501-506.
- Bailey, A.J., M.B. Enser, E. Dransfield, D.J. Restall y N.C. Avery. 1982. Muscle and adipose tissue from normal and double muscled cattle: collagen types, muscle fibre diameter, fat cell size

and fatty acid composition and organoleptic properties. (Abstract). En Muscle hypertrophy of genetic origin and its use to improve beef production. 178-202.

Beatty, D.T., A. Barnes, E. Taylor y S.K. Maloney. 2008. Do changes in feed intake or ambient temperature cause changes in cattle rumen temperature relative to core temperature? *J. Therm. Biol.* 33(1), 12-19.

Beede, D.K. y R.J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62:543-554.

Bergen, R.D. y A.D. Kennedy. 2000. Relationship between vaginal and tympanic membrane temperature in beef heifers. *Can. J. Anim. Sci.* 80(3), 515-518.

Bergen, R.D., A.D. Kennedy y R.J. Christopherson. 2001. Effects of intermittent cold exposure varying in intensity on core body temperature and resting heat production of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 81(4), 459-465.

Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83:1377-1384.

Berman, A. 2011. Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates? *J. Dairy Sci.* 94:2147-2158.

Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli y Y. Graber. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68:1488-1495.

Bewley, J.M., M.E. Einstein, M.W. Grott y M.M. Schutz. 2008a. Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:4661-4672.

Bewley, J.M., M.W. Grott, M.E. Einstein y M.M. Schutz. 2008b. Impact of intake water temperatures on reticular temperatures of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:3880-3887.

Boehmer, B.H., T.A. Pye y R.P. Wettemann. 2015. Ruminant temperature as a measure of body temperature of beef cows and relationship with ambient temperature. *Prof. Anim. Scientist.* 31(4), 387-393.

Brod, D.L., K.K. Bolsen y B.E. Brent. 1982. Effect of water temperature in rumen temperature, digestion and rumen fermentation in sheep. *J. Anim. Sci.* 54:179-182.

Brown-Brandl, T.M., T. Yanagi, H. Xin, R.S. Gates, R. Bucklin y G. Ross. 2001. Telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. In ASAE Annual International Meeting Sacramento, CA.

- Brown-Brandl, T.M., R.A. Eigenberg, G.L. Hahn, J.A. Nienaber, T.L. Mader, D.E. Spiers, y A.M. Parkhurst. 2005. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *Int. J. Biometeorol.* 49(5), 285-296.
- Buffington, D.E., R.J. Collier y G.H. Canton. 1983. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. (Abstract). *Transactions of the ASAE*, 26(6), 1798-1802.
- Burdick, N.C., J.A. Carroll, J.W. Dailey, R.D. Randel, S.M. Falkenberg y T.B. Schmidt. 2012. Development of a self-contained, indwelling vaginal temperature probe for use in cattle research. *J. Therm. Biol.* 37(4), 339-343.
- Campillo, C., R. Fortes y M. Henar. 2012. Solar radiation effect on crop production. *Solar radiation. InTech Open Access Publisher.* 167-194.
- Casas, E., G.L. Bennett., T.P.L. Smith y L.V. Cundiff. 2004. Association of myostatin on early calf mortality, growth, and carcass composition traits in crossbred cattle. *J. Anim. Sci.* 82:2913-2918.
- Charlier, C.W. Coppieters, F. Farnir, L. Grobet, P.L. Leroy, C. Michaux, M. Mni, A. Schwers, P. Vanmanshoven, R. Hanset, y M. Georges. 1995. The mh gene causing double-muscling in cattle maps to bovine chromosome 2. *Mamm. Genome.* 6, 788-792.
- Chupin, D. 1982. Analysis of reproduction problems in double muscle females. En *Muscle Hypertrophy of Genetic Origin and Its Use to Improve Beef Production*; King, J.W.B., Menissier, F., Eds.; Martinus Nijhoff Publishers: The Hague, The Netherlands. pp. 575-584.
- Cianzio, D. 2002. Historia breve del ganado Senepol en Puerto Rico: Un informe en colaboración. *Simposio Senepol, Santa Cruz, USVI 8-10 de noviembre de 2002.*
- Clinquart, A., C. Van Eenaeme, A.P. Mayombo, S. Gauthier y L. Istasse. 1995. Plasma hormones and metabolites in cattle in relation to breed (Belgian Blue vs. Holstein) and conformation (doublemusclcd vs. dual-purpose type). (Abstract) *Vet. Res. Comm.* 19:185-194.
- Collier, R., G. Dahl y M. VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89:1244-1253.
- Collier, R.J., y R.B. Zimbelman. 2007. Heat stress effects on cattle: what we know and what we don't know. *Proc. of the Southwest Nutrition and Management Conference, The University of Arizona, Tucson, February 23rd.*
- Collier, R.J., R.B. Zimbelman, R.P Rhoads, .M.L Rhoads y L.H. Baumgard. 2011. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In *Western Dairy Management Conf. Reno, NV. USA.* pp. 113-125.

- Cooper-Prado, M.J., N.M. Long, E.C. Wright, C.L. Goad y R.P. Wettemann. 2011. Relationship of ruminal temperature with parturition and estrus of beef cows. *J. Anim. Sci.* 89(4), 1020-1027.
- Dale, H.E., R.E. Stewart y S. Brody. 1954. Rumen temperature. Temperature gradients during feeding and fasting. (Abstract). *Cornell Vet.* 44, 368–374. *Scientist.* 31(4), 387-393.
- Davis, M.S., T.L. Mader, S.M. Holt y A.M. Parkhurst. 2003a. Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. *J. Anim. Sci.* 81(3), 649-661.
- Davis, J. D., E.S. Vanzant, J.L. Purswell, A.R. Green, J.R. Bicudo, R.S Gates y W.T. Smith. 2003b. Methods of remote, continuous temperature detection in beef cattle. En 2003 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- De Alba, J. 1987. Criollo cattle of Latin America. En: Hodges J (ed) *Animal genetic resources: strategies for improved use and conservation* FAO animal production and health paper 66 Rome, Food and agriculture organization of the United Nations, p.17–40.
- Dikmen, S., E. Alava, E. Pontes, J. Fear, B. Dikmen, T. Olson y P. Hansent, 2008. Differences in thermoregulatory ability between slick-haired and wild-type lactating holstein cows in response to acute heat stress. *J. Dairy Sci.* 91(9):3395-3402.
- Dikmen, S., F. Khan, H. Huson, T. Sonstegard, J. Moss, G. Dahl y P. Hansen. 2014. The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 97(9):5508-5520.
- Dumont, B.L. 1982. Carcass composition and muscle structure in hypertrophied animals. (Abstract). En *Muscle Hypertrophy of Genetic Origin and Its Use to Improve Beef Production*; King, J.W.B., Menissier, F., Eds.; Martinus Nijhoff Publishers: The Hague, The Netherlands. pp. 111-133.
- Dunlap, S., y C.K. Vincent. 1971. Influence of postbreeding thermal stress on conception rate in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 32(6), 1216-1218.
- Ferrell, C.L. 1988. Contribution of visceral organs to animal energy expenditures. *J. Anim. Sci.* 66:23-34.
- Fiems, L.O. 2012. Double muscling in cattle: Genes, husbandry, carcasses and meat. *Animals.* 2(3), 472-506.
- Fiems, L.O., B.G. Cottyn, C.V. Boucqué, D.F. Bogaerts, C. Van Eenaeme y J.M. Vanacker. 1997. Effect of beef type, body weight and dietary protein content on voluntary feed intake, digestibility, blood and urine metabolites and nitrogen retention. (Abstract). *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 77:1-9.

Fiems, L.O., S. De Campeneere, W. Van Caelenbergh y C.V Boucqué. 2001. Relationship between dam and calf characteristics with regard to dystocia in Belgian Blue double-muscled cows. (Abstract). *Anim. Sci.* 72, 389-394.

Fiems, L.O., R.J. Moermans, Ch.V. Boucqué, B.G. Cottyn, y S. De Campeneere. 1999. Voluntary feed intake in dual-purpose and double-muscled Belgian White-Blue bulls. pp. 21–25 en *Regulation of feed intake*. D. van der Heide, E. A. Huisman, E. Kanis, J. W. M. Osse, M. W. A. Verstegen, ed. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Finch, V.A. 1986. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. *J. Anim. Sci.* 62(2), 531-542.

Flori, L., M.I. Gonzatti, S. Thevenon, I. Chantal, J. Pinto, D. Berthier, P.M. Aso y M. Gautier. 2012. A quasi-exclusive European ancestry in the Senepol tropical cattle breed highlights the importance of the slick locus in tropical adaptation. *PloS one*, 7(5), e36133.

Florio, J., C. González, N. Madrid y E. Soto. 2008. Desarrollo sostenible de la ganadería de doble propósito. Uso de los bovinos criollos en cruzamientos con otras razas bovinas en américa latina. 978-980-6863-05-7.

Fordham, D.P., P. Rowlinson, y T.T. McCarthy. 1988. Oestrus detection in dairy cows by milk temperature measurement. (Abstract). *Res. Vet. Sci.* 44:366-374.

Gaughan, J.B., S.M. Holt, G.L. Hahn, T.L. Mader y R. Eigenberg. 2000. Respiration rate-is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 13, 329-332.

Gaughan, J.B., T.L. Mader y S.M. Holt. 2008. Cooling and feeding strategies to reduce heat load of grain-fed beef cattle in intensive housing. *Livest. Sci.* 113(2), 226-233.

Geay, Y., J. Robelin, M. Vermorel y C. Branger. 1982. Muscular development and energy utilization in cattle: the double-muscled as an extreme or a deviant animal. (Abstract). En: J.W.B. King and F. Messinier (Ed.) *Current Topics in Veterinary Medicine and Animal Science*, Vol. 16: *Muscle Hypertrophy of Genetic Origin and Its Use to Improve Beef Production*. pp. 74-87. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Países Bajos.

Geiger, R. 1950. *The climate near the ground*. Cambridge, Massachusetts. (Harvard University Press).

Giancoli, Douglas C. 2005. "Work and Energy." *Physics. Principles with Applications*. 6th ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, 156.

Gipe, P. 2004. *Wind power: renewable energy for home, farm, and business*. White River Junction, Vermont. (Chelsea Green Publishing Co.), 2<sup>nd</sup> edition.

- Grobet, L., L.R. Martin, D. Poncelet, D. Pirottin, B. Brouwers, J. Riquet, A. Schoeberlein, S. Dunner, F. Ménissier, J. Massabanda, R. Fries, R. Hanset y M. Georges. 1997. A deletion in the bovine myostatin gene causes the double-muscling phenotype in cattle. *Nat. Genet.* 17(1), 71-74.
- Grobet, L. D. Poncelet, L.J. Royo, B. Brouwers, D. Pirottin, C. Michaux, F. Menissier, M. Zanotti, S. Dunner y M. Georges. 1998. Molecular definition of an allelic series of mutation disrupting the myostatin function and causing double-muscling in cattle. *Mamm. Genome* 9, 210-213.
- Guidry, A. y R. McDowell. 1966. Tympanic membrane temperature for indicating rapid changes in body temperature. (Abstract). *J. Dairy Sci.* 49: (1)74-77.
- Gwazdauskas, F.C. 1985. Effects of climate on reproduction in cattle. (Abstract). *J. Dairy Sci.* 68:(6)1568-1578.
- Hammond, A.C. 1993. Evaluation of the Senepol breed: Heat tolerance and grazing activity. Proceedings of the 42nd annual Florida beef cattle shortcourse, 45.
- Hammond, A.C., T. Olson, C. Chase, Jr., E. Bowers, R. Randel, C. Murphy, D. Vogt y A. Tewolde. 1996. Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *J. Anim. Sci.* 74: 295-303.
- Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77: 10-20.
- Hahn, G.L., R.A. Eigenberg, J.A. Nienaber y E.T. Littledike. 1990. Measuring physiological responses of animals to environmental stressors using a microcomputer-based portable datalogger. *J. Anim. Sci.* 68:2658-2665.
- Harris, D. L., R. R. Shrode, I. W. Rupel y R. E. Leighton. 1960. A study of solar radiation as related to physiological and production responses of lactating Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 43(9):1255-1262.
- Hernández, A.I., D. Cianzio y T.A. Olson. 2002. Physiological performance and grazing behaviour of Senepol, Brahman and Holstein heifers in Puerto Rico. In Proc. Senepol Symp.
- Howard, J.T., S.D. Kachman, M.K. Nielsen, T.L. Mader y M.L. Spangler. 2013. The effect of myostatin genotype on body temperature during extreme temperature events. *J. Anim. Sci.* 91(7), 3051-3058.
- Hungate, R.E. 1966. The rumen and its microbes. Academic Press, New York, NY.
- Hupp, H.D. 1978. History and development of Senepol cattle. Virgin Islands Agricultural Experiment Station. Report 11. 7-11.
- Igono, M.O., G. Bjotvedt y H.T. Sanford-Crane. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. (Abstract). *Int. J. Biometeorol.* 36(2), 77-87.

- Jones, P.G. y P.K. Thornton. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Glob. Environ. Change* 13, 51-59.
- Jordan, E.R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86, E104-E114.
- Kadim, T., O. Mahgoub, D.S. Al-Ajmi, R.S. Al-Maqbaly, S.M. Al-Mugheiry y D.Y. Bartolome. 2004. The influence of season on quality characteristics of hot-boned beef *m. longissimus thoracis*. *Meat Sci.* 66, 831-836.
- Kadzere, C.T., M.R. Murphy, N. Silanikove y E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows; a review. *Livest. Prod. Sci.* 77: 59-91.
- Kambadur, R., M. Sharma, T.P. Smith y J.J. Bass. 1997. Mutations in myostatin (GDF8) in double-muscled Belgian Blue and Piedmontese Cattle. *Genome Res.* 7(9), 910-915.
- Kendall, P.E., P.P. Nielsen, J.R. Webster, G.A. Verkerk, R.P. Littlejohn y L.R. Matthews. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livest. Sci.* 103(1), 148-157.
- Kennedy, A. D., R.D. Bergen, R.J. Christopherson, N.D. Glover y J.A. Small. 2005. Effect of once daily 5-h or 10-h cold-exposures on body temperature and resting heat production of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 85(2), 177-183.
- Kerslake, D. McK. 1972. *The stress of hot environments*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kolkman, I., S. De Vliegher, G. Hoflack, M. Van Aert, J. Laureyns, D. Lips, A. De Kruif y G. Opsomer. 2007. Protocol of the caesarean section as performed in daily bovine practice in Belgium. *Reprod. Domest. Anim.* 42(6), 583-589.
- Kumar, S., B.V. Kumar Ajeet y K. Meena, 2011. Effect of heat stress on tropical livestock and different strategies for its amelioration. *J. Stress Physiol. Biochem.* 7: 45-54.
- Kyle, B.L., A.D. Kennedy y J.A. Small. 1998. Measurement of vaginal temperature by radiotelemetry for the prediction of estrus in beef cows. *Theriogenology.* 49(8), 1437-1449.
- Lammoglia, M.A., R.A. Bellows, E.E. Grings y J.W. Bergman. 1999. Effects of prepartum supplementary fat and muscle hypertrophy genotype on cold tolerance in newborn calves. *J. Anim. Sci.* 77:2227-2233.
- Langley, B., M. Thomas, A. Bishop, M. Sharma, S. Gilmour y R. Kambadur. 2002. Myostatin inhibits myoblast differentiation by down-regulating MyoD expression. *J. Biol. Chem.* 277, 49831-49840.

- Ledger, H.P. 1959. A possible explanation for part of the difference in heat tolerance exhibited by *Bos taurus*, and *Bos indicus* beef cattle. (Abstract). *Nature Lond.* 184, 405.
- Lefcourt, A.M. y W.R. Adams. 1996. Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. *J. Anim. Sci.* 74(11), 2633-2640.
- Liang, D., C. Wood, K. McQuerry, D. Ray, J. Clark y J. Bewley. 2013. Influence of breed, milk production, season, and ambient temperature on dairy cow reticulorumen temperature *J. Dairy Sci.* 96:5072-5081.
- Lucena, C. y T.A. Olson. 2000. Effect of hair coat type on rectal temperatures, milk production and calving interval in Holstein X Carora crossbred cows. In: *Proc. 10th Congreso Venezolano de Zootecnia, Guanare, Venezuela.* p. 84.
- Lucy, M.C. 2002. Reproductive loss in farm animals during heat stress. Pages 50-53 in *Proc. 15th American Meteorological Society Biological Systems and Aero Meeting.*
- Mader, T.L. 2003. Environmental stress in confined beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81(14\_suppl\_2), E110-E119.
- Mader, T.L., M.S. Davis y T. Brown-Brandl. 2006b. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84(3), 712-719.
- Mader, T.L., J.M. Dahlquist, G.L. Hahn y J.B. Gaughan. 1999b. Shade and wind barrier effects on summertime feedlot cattle performance. *J. Anim. Sci.* 77(8):2065-2072.
- Mader, T.L., J.B. Gaughan, L.J. Johnson y G.L. Hahn. 2010. Tympanic temperature in confined beef cattle exposed to excessive heat load. *Int. J. Biometeorol.* 54(6), 629-635.
- Mader, T.L., J.B. Gaughan, B.A Young, R. Albin y A.D. Howes. 1999a. Feedlot Diet Roughage Level for Hereford Cattle Exposed to Excessive Heat Load. *Prof. Anim. Scientist.* 15(1), 53-62.
- Mader, T.L. y W.M. Kreikemeier. 2006a. Effects of growth-promoting agents and season on blood metabolites and body temperature in heifers. *J. Anim. Sci.* 84(4), 1030-1037.
- Mao, W.H., E. Albrecht, F. Teuscher, Q. Yang, R.Q. Zhao y J. Wegner. 2008. Growth- and breed related changes of fetal development in cattle. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 21, 640-647.
- Mariasegaram, M., C.C. Chase, J.X. Chaparro, T.A. Olson, R.A. Brenneman, y R.P. Niedz. 2007. The slick hair coat locus maps to chromosome 20 in Senepol - derived cattle. *Anim. Genet.* 38(1), 54-59.
- Martínez, G. 1998. El ganado criollo Romosinuano (romo). *Animal Genetic Resources Information.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. 24:1-11.

- McGee, D.A., R.J. Rasby, M.K. Nielsen y T.L. Mader. 2008. Effects of summer climatic conditions on body temperature in beef cows. pp. 13-15. En Nebraska Beef Cattle Report MP91. University of Nebraska, Lincoln.
- McPherron, A.C., A.M. Lawler y S.J. Lee. 1997a. Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF- $\beta$  superfamily member. *Nature*. 387, 83-90.
- McPherron, A.C. y J.W. Lee. 1997b. Double muscling in cattle due to mutations in the myostatin gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 94(23), 12457-12461.
- Mitloehner, F.M., J.L. Morrow, J.W. Dailey, S.C. Wilson, M.L. Galyean, M.F. Miller y J.J. McGlone. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 2327-2335.
- Nardone, A.B. Ronchi, N. Lacetera, M.S. Ranieri y U. Bernabucci. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.* 130(1), 57-69.
- Ngapo, T.M., P. Berge, J. Culioli, E. Dransfield, S. De Smet y E. Claeys. 2002. Perimysial collagen crosslinking and meat tenderness in Belgian Blue double-muscling cattle. *Meat Sci.* 61(1), 91-102.
- O'Brien, M.D., R.P. Rhoads, S.R. Sanders, G.C. Duff y L.H. Baumgard. 2010. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. *Domest. Anim. Endocrinol.* 38(2), 86-94.
- Norris A.L. y T.H. Kunz. 2012. Effects of solar radiation on animal thermoregulation. Solar radiation. InTech Open Access Publisher. 195-220.
- Olson, T.A., M. Avila-Chytil, C.C. Chase Jr., P.J. Hansen y S.W. Coleman. 2002. Impact of hair coat differences on rectal temperature, skin temperature, and respiration rate of Holstein x Senepol crosses in Florida. In Latin American Association of Animal Production Seminar Proceedings.
- Olson, T.A., A.C. Hammond y C.C. Chase Jr. 1997. Evidence for the existence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in Senepol cattle. *J. Anim. Sci.* 75(Suppl. 1): 147.
- Olson, T.A., C. Lucena, C.C. Chase Jr. y A.C. Hammond. 2003. Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 81:80-90.
- Prendiville, D.J., Lowe, J., Earley, B., Spahr, C., & Kettlewell, P. (2003). Radiotelemetry Systems for Measuring Body Temperature in Cattle. *Farm and Food*. 13(1), 15-18.
- Price, D.M., A.W. Lewis, D.A. Neuendorff, J.A. Carroll, N.C. Burdick Sanchez, R.C. Vann, y R.D. Randel. 2015. Physiological and metabolic responses of gestating Brahman cows to repeated transportation. *J. Anim. Sci.* 93(2), 737-745.
- Primo A. 1992. El ganado bovino ibérico en América 500 años después. *Arch Zoot* 14(154): 421-432.

- Reid, J.T. y J. Robb. 1971. Relationship of body composition to energy intake and energetic efficiency. *J. Dairy Sci.* 54:553.
- Riley, D.G., C.C. Chase, S.W. Coleman y T.A. Olson. 2012. Genetic assessment of rectal temperature and coat score in Brahman, Angus, and Romosinuano crossbred and straightbred cows and calves under subtropical summer conditions. *Livest. Sci.* 148(1), 109-118.
- Rose-Dye, T.K., L.O. Burciaga-Robles, C.R. Krehbiel, D.L. Step, R.W. Fulton, A.W. Confer y C.J. Richards. 2011. Rumen temperature change monitored with remote rumen temperature boluses after challenges with bovine viral diarrhea virus and. *J. Anim. Sci.* 89(4), 1193-1200.
- Sánchez-Rodríguez, H. L., R.C. Vann, R.C. Youngblood, E. Baravik-Munsell, D.L. Christiansen, S. Willard y P.L. Ryan. 2013. Evaluation of pulsatility index and diameter of the jugular vein and superficial body temperature as physiological indices of temperament in weaned beef calves: Relationship with serum cortisol concentrations, rectal temperature, and sex. *Livest. Sci.* 151(2), 228-237.
- Short, R.E., M.D. MacNeil, M.D. Grosz, D.E. Gerrard y E.E. Grings. 2002. Pleiotropic effects in Hereford, Limousin, and Piedmontese F2 crossbred calves of genes controlling muscularity including the Piedmontese myostatin allele. *J. Anim. Sci.* 80, 1-11.
- Sievers, A.K., N.B. Kristensen, H.J. Laue y S. Wolfram. 2005. Development of an intraruminal device for data sampling and transmission. *J. Anim. Sci.* 83,(Suppl 1), 337-338.
- Smith, T.P., N.L. Lopez-Corrales, S.M. Kappes y T.S. Sonstegard. 1997. Myostatin maps to the interval containing the bovine mh locus. (Abstract). *Mamm. Genome.* 8(10), 742-744.
- Speakman, J. 2004. Thermoregulation, En: *Encyclopedia of Energy*, C. J. Cleveland, (Ed.), 125-137, Elsevier Academic Press. ISBN 012176480X, Boston, U.S.A.
- Sprott, L.R., G.E. Selk y D.C. Adams. 2001. Review: Factors affecting decisions on when to calve beef females. *Prof. Anim. Scientist.* 17:238-246.
- St-Pierre, N.R., B. Cobanov y G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86: E52-E77.
- Suero-Pérez, I. 2016. Caracterización reproductiva del ganado heterocigoto doble músculo en la raza senepol. Tesis. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.
- Suthar, V., O. Burfeind, J. Patel, A. Dhami y W. Heuwieser. 2011. Body temperature around induced estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94:2368-2373.
- Thom, EC. 1959. The discomfort index. (Abstract). *Weatherwise* 12:57-59.

- Thomas, M., B. Langley, C. Berry, M. Sharma, S. Kirk, J. Bass y R. Kambadur. 2000. Myostatin, a negative regulator of muscle growth, functions by inhibiting myoblast proliferation. *J. Biol. Chem.* 275(51), 40235-40243.
- Thompson, W.R., J.C. Meiske, R.D. Goodrich, J.R. Rust y F.M. Byers. 1983. Influence of body composition on energy requirements of beef cows during winter. *J. Anim. Sci.* 56: 1241-1252.
- Tucker, C.B., A.R. Rogers y K.E. Schütz. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109(2), 141-154.
- Vermorel, M., J. Vernet, S. Saïdo, C. Dardillat, C. Demigne y M.J. Davicco. 1989. Energy metabolism and thermoregulation in the newborn calf; Effect of calving conditions. *Can. J. Anim. Sci.* 69:113-122.
- Vermunt, J.J. 2008. The caesarean operation in cattle: A review. *Iran. J. Vet. Surg.* 3 (Suppl. 1), 82-100.
- Vickers, L., O. Burfeind, M. von Keyserlingk, D. Veira, D. Weary y W. Heuwieser. 2010. Technical note: Comparison of rectal and vaginal temperatures in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:5246-5251.
- Vissac, B., F. Ménissier y B. Perreau, 1973. Étude du caractère culard. VII. Croissance et musculature des femelles, déséquilibre morphologique au vêlage. (Abstract). *Ann. Génét. Sél. Anim.* 5, 23-38.
- Vissac, B. y B. Perreau. 1968. Étude du caractère culard. II. Incidence du caractère culard sur la morphologie générale des bovins. (Abstract). *Annales de Zootechnie.* 17(1), 77-101.
- Vitali, A., M. Segnalini, L. Bertocchi, U. Bernabucci, A. Nardone y N. Lacetera. 2009. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:3781–3790.
- Wahrmund, J.L., J.R. Ronchesel, C.R. Krehbiel, C.L. Goad, S.M. Trost y C.J. Richards. 2012. Ruminal acidosis challenge impact on ruminal temperature in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 90:2794–2801.
- Walsberg, G.E. (1992). Quantifying radiative heat gain in animals. *Am. Zool.* 32(2), 217-223.
- West, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144.
- West, J.W. 2002. Physiological effects of heat stress on production and reproduction. Pages 1-9 in *Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf.*, Fort Wayne, IN.

Wheeler, T.L., S.D. Shackelford, E. Casas, L.V. Cundiff y M. Koohmaraie. 2001. The effects of Piedmontese inheritance and myostatin genotype on the palatability of longissimus thoracis, gluteus medius, semimembranosus, and biceps femoris. *J. Anim. Sci.* 79(12), 3069-3074.

Wiener, P., J.A. Woolliams, A. Frank-Lawale, M. Ryan, R.I. Richardson, G.R. Nute, J.D. Wood, D. Homer y J.L. Williams. 2009. The effects of a mutation in the myostatin gene on meat and carcass quality. *Meat Sci.* 2009, 83:127-134.

Weather.gov. 2015. Definición de Ráfaga del Viento.

<http://graphical.weather.gov/definitions/defineWindGust.html> Revisado 30 de septiembre de 2015.

Zimelman, R.B y R.J. Collier. 2011. Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. En Proc. 2011 Tri-State Dairy Nutrition Conf. The Ohio State University, Columbus. pp. 111-126.